

**PENDINGINAN VAKUM PADA MADU DENGAN POMPA VAKUM SISTEM JET
AIR DALAM UPAYA MENEKAN KERUSAKAN MUTU MADU**

TESIS

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister

PROGRAM STUDI KETEKNIKAN PERTANIAN



SASONGKO AJI WIBOWO
186100300011002

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG
2021**

**PENDINGINAN VAKUM PADA MADU DENGAN POMPA VAKUM SISTEM JET
AIR DALAM UPAYA MENEKAN KERUSAKAN MUTU MADU**

Oleh:

SASONGKO AJI WIBOWO

186100300011002

**MINAT MANAJEMEN KETEKNIKAN PERTANIAN
PROGRAM STUDI KETEKNIKAN PERTANIAN**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Magister
Teknologi Pertanian Strata Dua (S2)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
MALANG**

2021

TESIS

PENDINGINAN VAKUM PADA MADU DENGAN POMPA VAKUM SISTEM JET AIR DALAM UPAYA MENEKAN KERUSAKAN MUTU MADU

Oleh :

SASONGKO AJI WIBOWO

186100300011002

Dipertahankan di depan penguji
Pada Tanggal **9 Juli 2021**
Dan dinyatakan memenuhi syarat

Komisi Pembimbing,



Dr. Ir. Anang Lastriyanto, MP.

Ketua



La Choviya Hawa, STP, MP, Ph.D

Anggota

Anggota

Malang, **12 Juli 2021**

Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya



Prof. Dr. H. Imam Santoso, MP
NIP. 19681005 199512 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah TESIS ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TESIS ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TESIS ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 11 Juli 2021

Mahasiswa



Nama : Sasongko Aji Wibowo
NIM : 186100300011002
PS : Keteknikan Pertanian
PPSFTPUB

HALAMAN PERUNTUKAN

Terimakasih saya tujukan kepada Bapak dan Ibu saya, tetesan air keringatmu, jerih susah payahmu, dan doa-doa mu selalu menyertai alur langkahku.

Dukungan Bapak dan Ibu merupakan kekuatan terdahsyat Sasongko dalam menyelesaikan tesis ini.

Bapak dan Ibu tercinta adalah motivator terbesar dalam hidupku, karena engakau tak pernah lelah mendoakan dan menyayangi.

Terimakasih atas semua pengorbanan dan kesabaran mengasuhku sampai detik ini. Tak pernah cukup ku membalas cinta kasih sayang bapak dan Ibu kepadaku.

~ SASONGKO AJI WIBOWO ~

SASONGKO AJI W. 186100300011002. PENDINGINAN VAKUM PADA MADU DENGAN POMPA VAKUM SISTEM JET AIR DALAM UPAYA MENEKAN KERUSAKAN MUTU MADU

Pembimbing : 1. Dr.Ir. Anang Lastriyanto, MP

2. La Choviya Hawa, STP, MP, Ph.D

RINGKASAN

Proses penanganan pasca panen madu sangat kompleks dan berbeda dengan proses penanganan pascapanen buah-buahan. Dimana tahapan proses dalam penanganan pascapanen madu adalah pemanenan, pemisahan madu dari sarang, penyaringan, pemanasan (pasteurisasi dan evaporasi), pendinginan dan pengemasan. Pendinginan madu setelah proses pemanasan perlu dilakukan, apabila madu langsung dikemas dalam kondisi masih panas maka akan merusak kemasan dan menyebabkan kandungan madu tercemar oleh kerusakan bahan kemasan akibat suhu madu yang masih panas. Pendingin vakum adalah teknik pendinginan dengan prinsip evaporasi yaitu menurunkan titik didih air berdasarkan tekanan vakum didalam ruang pendingin. Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh penggunaan pendingin vakum pada proses pendinginan madu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara mekanis proses pendinginan cepat dan mengetahui hasil kualitas madu yang diproses menggunakan pendingin vakum sistim jet air. Parameter analisa mekanis pendinginan yang dikaji meliputi lama waktu proses, laju penurunan suhu, dan tekanan maksimum terendah. Sedangkan parameter kualitas madu yang diamati diantaranya kadar air, viskositas, keasaman (pH), kerapatan massa jenis, derajat brix, enzim diatase dan gula pereduksi. Suhu pasteurisasi yang digunakan adalah 63°C, suhu tersebut digunakan sebagai titik awal suhu pendinginan. Suhu tersebut didinginkan hingga tekanan vakum menunjukan titik maksimum terendah. Pada proses pendinginan vakum dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi input yaitu 12,5% V/V, 25% V/V, dan 50% V/V tabung pendingin yang digunakan. Dalam hal ini volume tabung yang digunakan adalah 1000 ml, sehingga banyak nya sampel yang digunakan adalah 125ml, 250ml, dan 500ml. Sedangkan untuk pendinginan konvensional (kontrol) perlakuan dan jumlah sampel yang digunakan sama dengan pendinginan vakum. Sampel yang digunakan adalah madu hutan multi flora yang diperoleh dari hutan Riau, Indonesia.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lastrindo Engineering Kota Malang. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa. Proses pendingin vakum untuk mendinginkan madu lebih cepat dibandingkan dengan proses pendinginan madu secara konvensional. kecepatan pendingin vakum dengan isian 12,5% V/V, 25% V/V, dan 50% V/V berturut-turut 66,2 kali, 33 kali, dan 41 kali lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional. Nilai laju kecepatan atau konstanta (K) pendingin vakum pada isian 12,5% V/V, 25% V/V, dan 50% V/V berturut-turut adalah 0,025 /detik, 0,012 /detik, dan 0,004 /detik sedangkan nilai tekanan maksimum terendah pada isian tersebut adalah 10 kPa, 10 kPa dan 9,8 kPa. Proses pendingin vakum mampu menekan kerusakan kualitas mutu dan fisik madu akibat proses pemanasan, serta kualitas mutu dan fisik madu dari proses pendingin vakum lebih baik dibandingkan pendingin konvensional.

Kata kunci : Analisis kualitas, Analisis mekanis, Madu, Pendingin Vakum.



SUMMARY

The post-harvest handling process for honey is very complex and different from the post-harvest handling process for fruits. Where the stages of the process in postharvest handling of honey are harvesting, separating honey from the hive, filtering, heating (pasteurization and evaporation), cooling and packaging. Cooling the honey after the heating process needs to be done, if the honey is immediately packaged in a hot condition it will damage the packaging and cause the honey content to be contaminated by damage to the packaging material due to the hot temperature of the honey. Vacuum cooling is a cooling technique with the principle of evaporation, namely lowering the boiling point of water based on the vacuum pressure in the cooling chamber. This study will discuss the effect of using a vacuum cooler on the honey cooling process. The purpose of this study was to mechanically analyze the rapid cooling process and determine the quality of honey processed using a water jet vacuum cooling system. The cooling mechanical analysis parameters studied include the length of processing time, the rate of temperature reduction, and the lowest maximum pressure. While the parameters of honey quality were observed including water content, viscosity, acidity (pH), density density, degree of brix, attaches enzymes and reducing sugars. The pasteurization temperature used was 63°C, this temperature was used as the starting point for the cooling temperature. The temperature is cooled until the vacuum pressure shows the lowest maximum point. The vacuum cooling process was carried out 3 times with various inputs, namely 12.5% V/V, 25% V/V, and 50% V/V cooling tubes were used. In this case the volume of the tube used is 1000 ml, so the number of samples used is 125 ml, 250 ml, and 500 ml. Meanwhile, for conventional cooling (control) the treatment and number of samples used were the same as for vacuum cooling. The sample used was multi-flora forest honey obtained from the forests of Riau, Indonesia. The research was conducted at the Lastrindo Engineering Laboratory, Malang City. The results showed that. The vacuum cooling process to cool the honey faster than the conventional honey cooling process. the speed of vacuum cooler with 12.5% V/V, 25% V/V, and 50% V/V filling, respectively, is 66.2 times, 33 times, and 41 times faster than conventional cooling. The value of the speed or constant (K) of the vacuum cooler at 12.5% V/V, 25% V/V, and 50% V/V,

respectively, is 0.025/second, 0.012/second, and 0.004/second, while the the lowest maximum pressures in the filling are 10 kPa, 10 kPa and 9.8 kPa. The vacuum cooling process is able to suppress the damage to the quality and physical quality of honey due to the heating process, and the quality and physical quality of honey from the vacuum cooling process is better than conventional cooling.

Keywords : *Quality analysis, Mechanical analysis, Honey, Vacuum Cooling*



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin segala puji dan syukur kepada Allah S.W.T. Tuhan yang Maha Esa atas segala Rahmat, Nikmat dan Berkah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul: **PENDINGINAN VAKUM PADA MADU DENGAN POMPA VAKUM SISTEM JET AIR DALAM UPAYA MENEKAN KERUSAKAN MUTU MADU**. Tesis ini disusun guna sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister. Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP. Selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Keteknikan Pertanian.
2. Dr.Ir. Anang Lastriyanto, MP selaku dosen pembimbing I dan La Choviya Hawa, STP. MP. PhD selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu, dan pengetahuan kepada penulis.
3. Dr. Ir. Sandra Malin Sutan, MP. selaku dosen penguji I dan Dr. Ir. Gunomo Djojowasito. MS. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik, saran, dan ilmu kepada penulis,
4. Kedua Orang tua penulis, yang telah memberikan seluruh doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dan memberi semangat yang tiada hentinya kepada penulis.
5. Teman-teman Pascasarjana 2018 dan 2019 yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
6. Dan kepada pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan, penulis juga sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya karena dengan bantuan Bapak/Ibu/Saudara sehingga tesis ini dapat diselesaikan penulisannya dengan baik.

Akhir harapan penulis, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Juli 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN Error! Bookmark not defined.

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....Error! Bookmark not defined.

HALAMAN PERUNTUKAN.....v

RINGKASAN.....vi

KATA PENGANTARx

DAFTAR ISIxi

DAFTAR TABELxiv

DAFTAR GAMBARxv

DAFTAR LAMPIRANxvii

BAB I. PENDAHULUAN1

1.1 Latar Belakang1

1.2 Rumusan Masalah3

1.3 Tujuan.....4

1.4 Manfaat Penelitian4

1.5 Batasan Masalah5

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA6

2.1 Madu.....6

2.2. Kualitas Mutu dan fisik Madu.....8

2.2.1. Enzim diatase8

2.2.2. Gula Pereduksi10

2.2.3. Brix.....12

2.2.4. Keasaman Madu (pH)13

| | |
|--|-----------|
| 2.2.5. Viskositas..... | 13 |
| 2.2.6. Kadar Air..... | 14 |
| 2.2.7. Kerapatan Massa jenis..... | 15 |
| 2.3 Proses Pendingin Vakum (Vacuum Cooling Process)..... | 16 |
| 2.3.1. Keuntungan Pendingin Vakum..... | 19 |
| 2.3.2. Prinsip Termodinamika Pendinginan Vakum..... | 19 |
| 2.3.4. Analisis Energi dan Massa Sistem Pendingin Vakum. | 21 |
| BAB III KERANGKA PEMIKIRAN..... | 23 |
| 3.1 Kerangka Berfikir..... | 23 |
| 3.2 Hipotesis..... | 28 |
| BAB IV. METODE PENELITIAN..... | 31 |
| 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... | 31 |
| 4.2 Alat dan Bahan..... | 31 |
| 4.2.1 Alat..... | 31 |
| 4.2.2 Bahan..... | 33 |
| 4.3 Metode Penelitian..... | 34 |
| 4.3.1 Persiapan Prototype Alat Pendingin Vakum Sistim Jet Air..... | 36 |
| 4.3.2. Mekanisme Kerja Prototype Pendingin Vakum Sistim Jet Air..... | 38 |
| 4.3.3 Tahap Preparasi Sampel..... | 41 |
| 4.3.4 Proses Pendinginan..... | 41 |
| BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 61 |
| 5.1. Proses pendingin madu..... | 61 |
| 5.1.1. Pendingin Vakum (<i>Vacuum Cooling</i>)..... | 61 |
| 5.1.2. Pendingin Konvensional..... | 61 |
| 5.2. Lama Waktu Proses Pendinginan..... | 62 |
| 5.3. Laju Penurunan Suhu..... | 64 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4. Tekanan Vakum Maksimum Terendah | 66 |
| 5.4.1 Tekanan Maksimum Terendah Isian 12,5% (V/V) | 68 |
| 5.4.2 Tekanan Maksimum Terendah Isian 25% (V/V) | 69 |
| 5.4.3 Tekanan Maksimum Terendah Isian 50% (V/V) | 71 |
| 5.5. Kualitas Madu | 72 |
| 5.5.1. Kadar Air (%) | 74 |
| 5.5.2. Viskositas | 75 |
| 5.5.3. Kerapatan Massa Jenis | 76 |
| 5.5.4. Brix Madu | 77 |
| 5.5.5. Enzim Diastase | 78 |
| 5.5.6. Gula Pereduksi | 79 |
| 5.5.7. Keasaman Madu (pH) | 81 |
| BAB VI. KESIMPULAN | 83 |
| 6.1. Kesimpulan | 83 |
| 6.2. Saran | 83 |
| DAFTAR PUSTAKA | 84 |



DAFTAR TABEL

Halaman

| | |
|---|----|
| Table 1. Persyaratan Mutu Madu SNI 8664:2018 | 7 |
| Tabel 2. Penelitian terdahulu tentang sistim pendingin vakum (<i>vacuum cooling</i>) | 26 |
| Table 3. Lama proses pada pendinginan madu | 64 |
| Table 4. Nilai Konstanta pada pendinginan madu..... | 66 |
| Table 5. Mutu madu hasil penelitian..... | 73 |



DAFTAR GAMBAR

Halaman

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Reaksi reagen dengan gula pereduksi pada madu..... | 11 |
| Gambar 2. Hubungan antara suhu jenuh dan uap jenuh pada proses penguapan air | 16 |
| Gambar 3. Diagram skematis dari sistem pendingin vakum..... | 18 |
| Gambar 4. Bagian utama dan komponen dari sistem pendingin vakum..... | 25 |
| Gambar 5. Bagan kerangka berpikir penelitian pendingin vakum..... | 30 |
| Gambar 6. Diagram alir penelitian <i>rapid cooling</i> untuk madu..... | 35 |
| Gambar 7. Diagram alir perakitan prototype pendingin vakum sistim jet air | 37 |
| Gambar 8. alat pendingin vakum sistim jet air..... | 37 |
| Gambar 9. Alur kerja sistem pendingin cepat dengan vakum sistim jet air | 39 |
| Gambar 10. Mekanisme kerja alat pendingin vakum sistim jet air | 40 |
| Gambar 11. Letak sensor termokopel | 43 |
| Gambar 12. Diagram Alir Persiapan Larutan Pat | 48 |
| Gambar 13. Diagram Alir Kalibrasi Larutan Pati..... | 49 |
| Gambar 14. Diagram Alir Preparasi Sampel Madu | 51 |
| Gambar 15. Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel..... | 52 |
| Gambar 16. Diagram Alir Pembuatan Reagen..... | 54 |
| Gambar 17. Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Glukosa..... | 56 |
| Gambar 18. Diagram Alir Determinasi Gula Pereduksi | 58 |
| Gambar 19. Diagram alir uji keasaman..... | 60 |
| Gambar 20. Perubahan Suhu Selama Pendinginan <i>Vacuum Cooling</i> (VC) dan Konvensional (K)..... | 62 |
| Gambar 21. Proses pendinginan madu: (a). <i>vacuum cooling</i> 12,5%, (b). <i>vacuum cooling</i> 25%, (c). <i>vacuum cooling</i> 50%, (d). Konvensional 12,5%, (e). konvensional 25%, (f). Konvensional 50%..... | 63 |
| Gambar 22. Laju pendinginan <i>vacuum cooling</i> dan pendingin konvensional pada berbagai kapasitas Isian..... | 65 |
| Gambar 23. Perbandingan Laju Tekanan terhadap Waktu Volume 12,5%, 25%, 50%..... | 67 |

| | |
|---|----|
| Gambar 24. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 12,5% V/V .. | 68 |
| Gambar 25. (a). madu sebelum mendidih dan berbusa. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah..... | 69 |
| Gambar 26. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 25% V/V | 69 |
| Gambar 27. (a). madu terangkat naik. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah..... | 70 |
| Gambar 28. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 50% V/V | 71 |
| Gambar 29. (a). madu terangkat naik. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah..... | 72 |
| Gambar 30. Perubahan kadar air madu setelah berbagai proses..... | 74 |
| Gambar 31. Perubahan nilai viskositas..... | 75 |
| Gambar 32. Grafik perubahan kerapatan Massa jenis | 76 |
| Gambar 33. Grafik perubahan brix madu | 77 |
| Gambar 34. Aktivitas Enzim Diastase | 78 |
| Gambar 35. Grafik nilai gula pereduksi..... | 80 |
| Gambar 36. Nilai Keasaman madu | 81 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Hasil pengujian kerapatan massa jenis madu | 91 |
| Lampiran 2. Hasil Pengujian Aktivitas Enzim Diastase | 91 |
| Lampiran 3. Hasil pengujian keasaman madu | 92 |
| Lampiran 4. Pengujian viskositas madu | 93 |
| Lampiran 5. Hasil pengujian kadar air madu | 94 |
| Lampiran 6. Hasil pengujian gula pereduksi..... | 94 |
| Lampiran 7. Hasil uji total padatan terlarut..... | 95 |
| Lampiran 8. Proses perakitan alat pendingin vakum sistim jet air | 95 |
| Lampiran 9. Proses pengujian alat pendingin vakum sistim jet air | 96 |
| Lampiran 10. Proses kalibrai alat dengan midi logger | 96 |

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Madu merupakan salah satu bahan pangan yang berbentuk cairan dan memiliki rasa yang manis. Madu berasal dari nektar bunga yang diambil oleh lebah menggunakan lidah (*proboscis*), selanjutnya madu disimpan dalam sarang lebah untuk bahan cadangan makanan. Madu sangat baik dikonsumsi oleh manusia karena mengandung gizi yang sangat kompleks. Madu banyak mengandung mineral seperti natrium, kalsium, magnesium, aluminium, besi, fosfor dan kalium. Selain itu madu juga mengandung enzim yang baik bagi kesehatan.

Berdasarkan pengamatan lapangan yang dilakukan oleh petani, nektar bunga yang dikumpulkan lebah didalam sarang dalam kurun waktu kurang dari 2 minggu biasanya disebut madu yang masih muda atau belum matang. Madu muda tersebut biasanya memiliki kadar air yang diatas 22%. Madu yang disimpan dalam sarang lebah lebih dari 2 minggu oleh petani disebut madu matang, madu tersebut biasanya mengandung kadar air sekitar 22% namun jika madu dipanen pada musim hujan kadar air madu tersebut lebih dari 22%. Oleh sebab itu, madu murni yang diperoleh dari sarang lebah umumnya masih mengandung kadar air rata-rata diatas 22%. Madu dengan kadar air diatas 22% yang telah dipanen akan mengalami kerusakan apabila disimpan secara lama. Hal tersebut dikarenakan adanya fermentasi oleh ragi yang terdapat didalam madu. Dampak dari fermentasi oleh ragi menyebabkan fruktosa yang terkandung didalam madu akan direduksi menjadi alkohol dan sebagian akan menghasilkan gas.

Beberapa perusahaan produksi madu kemasan di Indonesia, cara yang digunakan untuk pengawetan madu adalah dengan cara menurunkan kadar air hingga kurang dari 22% menurut anjuran SNI mutu madu. Madu sangat sensitive terhadap suhu yang panas karena kandungan mineral dalam madu mudah terdegradasi oleh suhu panas. Pemanasan madu di atas 70°C tidak cocok karena menyebabkan degradasi senyawa bioaktif yang dapat mempengaruhi kualitas madu (Turhan, *et al.*, 2008). Pemanasan madu dengan suhu lebih dari 70°C juga tidak disarankan karena dapat menyebabkan perubahan rasa, warna, dan granulasi madu (Ghazali HM., *et al.*, 1994). Enzim merupakan kandungan dalam madu yang

terdenaturasi oleh panas (Raeymaekers, 2006). Selain itu, proses pemanasan dengan suhu tinggi dapat mengurangi komponen bioaktif dan antioksidan serta menurunkan kualitas produk madu dan kandungan nutrisinya (Escriche, *et al.*, 2009). Namun proses pemanasan terhadap madu perlu dilakukan untuk memperpanjang masa simpan madu. Proses penanganan pasca panen madu sangat kompleks. Dimana tahapan proses dalam penanganan pascapanen madu dalam skala industri adalah pemisahan madu dari sarang, penyaringan, pemanasan (pasteurisasi dan evaporasi), pendinginan dan pengemasan.

Permasalahan yang ada saat ini adalah perlunya proses pendinginan madu secara cepat. Karena pendinginan madu secara konvensional membutuhkan waktu yang lama dan panas yang tersisa setelah proses pemanasan akan mendegradasi kandungan mutu yang terdapat dalam madu. Pendinginan konvensional juga menyebabkan terkontaminasi dengan bakteri karena madu dalam kondisi terbuka di udara. Kontaminasi bakteri merusak akan menyebabkan kerusakan pada kandungan madu dan merubah aroma madu menjadi kurang diminati oleh konsumen. Apabila madu langsung dikemas dalam kondisi masih panas maka akan merusak kemasan dan menyebabkan kandungan madu tercemar oleh kerusakan bahan kemasan akibat suhu madu yang masih panas. Selain itu kerusakan mutu madu juga dapat disebabkan karena panas sisa proses pemanasan yang masih terdapat dalam bahan madu saat proses pendinginan berlangsung. Terutama kandungan enzim diastase yang mudah terdegradasi karena perlakuan panas. Dalam permasalahan tersebut perlunya dilakukan pendinginan secara tertutup dan efektif guna untuk menekan kerusakan mutu madu dan lainnya.

Pendingin vakum adalah teknik pendinginan secara cepat dengan prinsip evaporasi yaitu menurunkan titik didih air berdasarkan tekanan vakum didalam ruang pendingin (Hande dan Hepbasli, 2017). Pendingin vakum dapat digunakan untuk mendinginkan produk pangan tertentu. Energi untuk proses pendinginan terjadi akibat panas laten dari bahan pangan yang menguap karena ada tekanan vakum (< 1 atm) didalam ruang vakum tersebut (McDonald, dkk. 2000). Hal tersebut mengakibatkan terjadinya fenomena penurunan panas sensitif produk dan menghasilkan proses pendinginan. Keuntungan utama dari pendinginan vakum adalah memungkinkan pendinginan produk dalam jumlah banyak dengan waktu yang sangat singkat. Keuntungan lain dari pendinginan vakum, bila dibandingkan

dengan metode pendinginan konvensional, adalah pendistribusian suhu yang lebih seragam didalam produk (McDonald dan Sun, 2001a). Hal ini disebabkan karena pendinginan terjadi dengan menguapkan air di permukaan dan di pori-pori produk, sehingga menghasilkan pendinginan yang lebih homogen.

Beberapa penelitian terdahulu yang mengkaji tentang alat pendingin vakum (*vacuum cooling*) dan sistem pendinginnya digunakan untuk mendinginkan bahan pangan cair seperti sari blueberry untuk campuran pembuatan yoghurt (Sun & Wang, 2001), saus tomat (Di risio, 1990). Berdasarkan penelitian tersebut sistem pendinginan vakum dapat diterapkan pada proses pendinginan cepat pada madu setelah melalui proses *pre-heating*. Pengaplikasian pendingin cepat perlu dilakukan untuk menghemat waktu pendinginan secara konvensional dan mengurangi kerusakan mutu madu akibat panas yang masih tersimpan setelah proses pemanasan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan pendinginan vakum sistim jet air dibandingkan dengan pendinginan konvensional, laju pendinginan, tekanan maksimum terendah pada pendingin vakum sistim jet air, perubahan kandungan kualitas mutu dan perubahan fisik madu terhadap proses pendingin vakum sistim jet air dan pendingin konvensional. Parameter yang diamati dalam penelitian ini yang pertama adalah analisis aspek mekanis yaitu lama waktu pendinginan, laju pendinginan, titik tekanan paling optimum terendah untuk ruang pendingin vakum. Kedua, perubahan kualitas madu yaitu kualitas mutu madu seperti aktivitas enzim diastase, gula pereduksi, brix, pH sedangkan kualitas fisik madu seperti viskositas, kadar air, kerapatan massa jenis keduanya dijadikan parameter untuk melihat kualitas madu setelah proses pendinginan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa kecepatan pendinginan pada alat pendingin vakum sistim jet air untuk mendinginkan madu setelah proses pemanasan?
2. Bagaimana aspek mekanis dari alat pendingin vakum sistim jet air dalam pendinginan madu ?
3. Berapa lama waktu pendinginan dan laju penurunan suhu pada proses pendingin konvensional?

4. Bagaimana pengaruh pendinginan madu menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air terhadap kandungan kualitas mutu dan fisik madu setelah proses pemanasan dibandingkan dengan pendinginan konvensional?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis kecepatan alat pendingin vakum sistim jet air untuk proses pendingin madu dibandingkan dengan proses pendingin madu secara konvensional.
2. Menganalisis aspek mekanis yaitu lama waktu proses pendinginan, laju penurunan suhu, dan tekanan vakum maksimum terendah untuk proses pendinginan madu pada pendingin vakum sistim jet air.
3. Mengetahui lama waktu pendinginan dan laju penurunan suhu pada proses pendinginan madu secara konvensional.
4. Mengetahui kualitas mutu dan fisik madu (Kadar air, viskositas, kerapatan massa jenis, brix, gula pereduksi, pH, dan analisis enzim diatase) setelah dilakukan proses pendinginan menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air dan pendinginan konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk penulis

1. Mengetahui kecepatan pendinginan dari alat pendingin vakum sistim jet air untuk mendinginkan madu setelah proses pemanasan.
2. Mengetahui aspek mekanis dari proses pendinginan menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air dalam pendinginan madu.
3. Mengetahui kandungan kualitas madu setelah dilakukan proses pendinginan secara cepat.
4. Menambah wawasan dalam pengaplikasian ilmu dari kegiatan perkuliahan.

2. Peneliti Selanjutnya

Hail penelitian ini dapat digunakan sebagai parameter dasar dari proses pendinginan madu menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air dalam pendinginan madu serta digunakan untuk mendinginkan jenis bahan cair yang lainnya. Kemudian dapat dilakukan modifikasi lebih lanjut guna memperoleh kondisi optimum alat pendingin vakum sistim jet air.

3. Untuk Masyarakat atau industri madu

Memberikan informasi tentang proses pendinginan madu setelah dilakukan proses *pre-heating* madu, sehingga masyarakat atau perusahaan industri madu mengetahui penanganan madu yang baik serta untuk menjaga kualitas bahan sebagai produk ekspor.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Suhu target 35 derajat celsius waktu siap kemas, dari suhu pasteurisasi 63 derajat celsius
2. Pengamatan fisik, biokimia, dan kimia ditentukan berdasarkan kualitas madu.
3. Suhu air sirkulasi yang digunakan.
4. Pindah panas secara spontan pada saat terjadi pindah massa.
5. Jenis sampel madu yang digunakan berasal dari hutan Riau.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Madu

Madu merupakan bahan pangan berbentuk cairan kental yang mempunyai rasa manis. Madu adalah gula alami dari nektar bunga yang dikumpulkan lebah kemudian disimpan dalam sarang lebah sebagai cadangan makanan (Cooper, 1999). Dalam prosesnya nektar akan memfermentasi oleh lebah didalam perutnya dengan cara mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa oleh enzim invertase yang terdapat di tenggorokan lebah. Madu yang disimpan di dalam sel-sel sarang lebah akan mengalami ekstraksi air, pembentukan monosakarida, dan pengayaan dengan campuran aromatik. Setelah tiga sampai tujuh hari, lebah akan menutup bagian sel sarang dengan malam untuk mematangkan madu (Susanto, 2007).

Rasa manis madu 1½ kali lebih manis dari rasa gula putih/pasir. Tetapi, rasa manis tersebut tidak memiliki kandungan yang buruk seperti halnya yang terkandung didalam gula putih. Kandungan senyawa utama madu adalah karbohidrat (79,8%), dan air (17%) (Kasli, 2016). Menurut Gairola dkk, (2013) madu adalah bahan pangan kompleks yang bersumber dari alam dan memiliki kandungan yang baik untuk dikonsumsi manusia sebagai campuran pemanis tanpa proses pengolahan. Kandungan senyawa yang terdapat dalam madu antara lain air, karbohidrat dalam bentuk gula, mineral, vitamin, asam organik, enzim diastase dan senyawa bioaktif (Hudri 2014).

Terdapat 180 macam senyawa dan nutrisi yang terkandung dalam madu alami. Fruktosa adalah jenis gula yang paling banyak terkandung dalam madu, kandungan tersebut mencapai 38,5 gram per 100 gram madu murni. Sedangkan kadar gula lain seperti glukosa, maltose, dan sukrosa lebih rendah. Fruktosa atau levulosa adalah gula murni yang di hasilkan dari saripati buah-buahan. Berbeda dengan fruktosa, sukrosa adalah gula yang diolah manusia dengan bahan bakunya adalah tebu. Manfaat dari gula sendiri adalah sumber energy bagi manusia yang digunakan untuk melakukan aktivitas sehari-hari (Cavia, Dkk 2002). Beberapa penelitian gizi dan pangan menunjukan bahwa madu memiliki kandungan karbohidrat yang lebih tinggi sekitar 82,4% dibandingkan produk ternak lain seperti; telur, daging, susu, keju, dan mentega. Dalam 100 gram madu murni dengan kadar

air 17,2 gram mengandung 294 kalori, sebagai perbandingan 1000 gram madu murni setara dengan 5.676 liter susu atau 50 butir telur ayam atau 1680 gram daging. Selain komponen diatas, madu juga mengandung banyak mineral baik yang bersifat esensial maupun non esensial (aden, 2010). Menurut panduan SNI 8664:2018 Madu diklasifikasikan kedalam 3 kategori yaitu a) Madu Hutan, b) Madu Budidaya, c) Madu lebah tanpa sengat. Selanjutnya terdapat persyaratan mutu madu seperti Tabel 1.

Table 1. Persyaratan Mutu Madu SNI 8664:2018

| No | Jenis Uji | Satuan | Persyaratan | | |
|----------|---|------------|------------------|---------------|-------------------------|
| | | | Madu hutan | Madu budidaya | Madu lebah tanpa sengat |
| A | Uji organoleptic | | | | |
| 1 | Bau | | Khas Madu | Khas Madu | Khas Madu |
| 2 | Rasa | | Khas Madu | Khas Madu | Khas Madu |
| B | Uji laboratoris | | | | |
| 1 | Aktivitas enzim diastase | DN | Min 1*) | Min 3*) | Min 1*) |
| 2 | Hidroksimetilfurfural (HMF) | Mg/kg | Maks 40 | Maks 40 | Maks 40 |
| 3 | Kadar air | % b/b | Maks 22 | Maks 22 | Maks 27,5 |
| 4 | Gula pereduksi (dihitung sebagai glukosa) | % b/b | Min 65 | Min 65 | Min 55 |
| 5 | Sukrosa | % b/b | Maks 5 | Maks 5 | Maks 5 |
| 6 | Keasaman | ml NaOH/kg | Maks 50 | Maks 50 | Maks 200 |
| 7 | Padatan tak larut dalam air | % b/b | Maks 0,5 | Maks 0,5 | Maks 0,7 |
| 8 | Abu | % b/b | Maks 0,5 | Maks 0,5 | Maks 0,5 |
| 9 | Cemaran Logam | | | | |
| 9.1 | Timbal (Pb) | Mg/kg | Maks 1,0 | Maks 1,0 | Maks 1,0 |
| 9.2 | Cadmium (Cd) | Mg/kg | Maks 0,2 | Maks 0,2 | Maks 0,2 |
| 9.3 | Merkuri (Hg) | Mg/kg | Maks 0,03 | Maks 0,03 | Maks 0,03 |
| 10 | Cemaran arsen (As) | Mg/kg | Maks 1,0 | Maks 1,0 | Maks 1,0 |
| 11 | Kloramfenikol | Mg/kg | Tidak terdeteksi | | |

CATATAN * Persyaratan ini berdasarkan pengujian setelah madu dipanen

2.2. Kualitas Mutu dan fisik Madu

Proses pemanasan madu digunakan untuk mencegah terjadinya fermentasi yang disebabkan oleh ragi yang tahan terhadap kandungan gula yang tinggi dan menghindari terjadinya proses kristalisasi pada madu. Kualitas mutu madu seperti aktivitas enzim diastase, gula pereduksi, brix, pH sedangkan kualitas fisik madu seperti viskositas, kadar air, kerapatan massa jenis keduanya dijadikan parameter utama untuk melihat kualitas madu setelah proses pemanasan kemudian didinginkan secara cepat (Singh, 2018).

2.2.1. Enzim diastase

Semua jenis madu memiliki beberapa jenis enzim yang berperan sebagai nutrisi dan analitis dalam produk. Salah satu enzim madu terpenting adalah diastase yang mampu memecah ikatan glikosidik dalam oligo- dan polisakarida yaitu pati menjadi gula sederhana. Enzim sendiri sangat sensitive dan rentan terjadi kerusakan terhadap panas (Singh, 2018). Oleh karena itu, pemanasan dan penyimpanan yang tepat sangat penting untuk mempertahankan harga jual madu dipasaran. Aktivitas enzim diastase menurun seiring dengan waktu penyimpanan dan pemanasan. Selain itu enzim diastase juga dapat meningkat karena proses pemanasan dalam jangka waktu tertentu dibawah suhu 100°C (Tosi *et al.*, 2008). Dalam penelitian (Harjo, *et al.*, 2015) diketahui bahwa madu merupakan bahan makanan dengan kandungan enzim yang tinggi. Beberapa jenis enzim yang paling penting dalam kandungan madu adalah diastase, invertase, glukosaoksidase, dan enzim yang aktif dalam fermentasi. Dalam penelitian lain, White (1978) menyimpulkan bahwa aktivitas enzim diastase (Diastase Number = DN) akan menurun seiring penambahan suhu, suhu maksimum yang disarankan untuk dilakukannya pasteurisasi adalah 70°C karena pada suhu tersebut paruh hidup enzim diastase adalah 5,3jam.

Berdasarkan Standar Mutu Madu (SMM) dan Standar Internasional (SI) yang dikeluarkan oleh Komisi Madu Internasional, nilai aktivitas enzim diastase tidak

diperbolehkan kurang atau sama dengan 8 nomor diastase (DN). Nilai DN harus dalam skala Schade dan sesuai dengan nomor skala Gothe merupakan total gram pati yang terhidrolisis selama 60 menit (1 Jam) pada suhu 40°C / 100 gram madu.

Selain itu Codex Alimentarius (2001) menetapkan batas minimum aktivitas enzim diastase adalah 3 DN untuk madu murni masuk dalam kategori rendah. Jika nilai DN madu di bawah 8 dan lebih dari atau sama dengan 3 maka nilai kandungan HMF tidak boleh melebihi 15 mg/kg. sedangkan jika nilai DN madu lebih besar dari 8 maka nilai kandungan HMF batas maksimumnya adalah 60 mg/kg (Suratno, 2004).

Enzim madu digunakan sebagai indikator kualitas madu karena kepekaan panasnya (Subramanian *et al.* 2007). Huidobro dkk. (1995) menentukan aktivitas diastase madu dan nilai yang dilaporkan dalam kisaran angka 11,3-34,5. Sahinler dan Gul (2005) dalam sebuah penelitian menilai bahwa perlakuan pemanasan pada suhu 55-65°C tidak banyak berpengaruh pada jumlah diastase tetapi lebih dipengaruhi oleh waktu penyimpanan. Namun, madu yang diproduksi di iklim yang lebih hangat telah diamati memiliki aktivitas diastase yang lebih rendah (LaGrange dan Sanders 1988).

Aktivitas diastase pertama kali meningkat dari 40 menjadi 50°C dan kemudian menurun hampir secara teratur dengan peningkatan suhu hingga 80°C (Khan *et al.* 2015a). Namun Hasan (2013) menemukan bahwa perlakuan panas madu pada suhu 55, 65, 75 °C selama 5, 15, 20 dan 25 menit tidak mempengaruhi aktivitas diastase dan invertase tetapi lebih dipengaruhi oleh waktu penyimpanan. Aktivitas diastase juga lebih sensitif terhadap perpanjangan waktu pemanasan daripada peningkatan suhu (Singh, 2018). Setelah 3 jam pada suhu 50 °C, aktivitas enzimatik berkurang secara drastis (53,71%) dibandingkan dalam kasus pemanasan pada suhu yang lebih tinggi tetapi rentang waktu yang lebih pendek seperti 48,29% selama 0,5 jam pada 100 °C atau 49,55% selama 1 jam pemanasan pada 80 °C (Cozmata *et al.* 2011). Hernandez dkk. (2015) menerapkan perlakuan termal (pasteurisasi dan *tyndallization*) pada madu dengan lebah *Apis mellifera* dan *Tetragonisca angustula*, untuk mengamati dampak pada beberapa parameter fisikokimia dan mikrobiologi yang terkait dengan kualitas madu. Madu yang dibotolkan dalam penerima gelas amber dipasteurisasi hingga suhu 65 °C selama 15 dan 21 menit dan dinormalisasi hingga 80 °C selama 5 dan 7 menit. Sampel madu yang diberi perlakuan panas untuk pasteurisasi dan *tyndallization* selama 15 dan 21

menit menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik dalam aktivitas diastase, dibandingkan dengan madu yang tidak diolah. Menurut Tosi et al. (2008), kehilangan aktivitas diastase terjadi saat suhu meningkat. Penurunan aktivitas diastase lebih signifikan pada tingkat kenaikan suhu yang lebih tinggi. Sebaliknya, selama pemanasan isothermal (suhu tetap konstan) aktivitas diastase menurun untuk waktu perlakuan yang singkat (biasanya selama 120 detik) tetapi meningkat ketika waktu ditingkatkan. Efeknya sesuai dengan semua perlakuan suhu yang diteliti yaitu 60-100 °C namun dengan perlakuan 100 °C tidak diperbolehkan karena aktivitas diastase menjadi nol (Singh, 2018).

Pati mudah terhidrolisis dengan asam atau enzim, pati dipanaskan dengan asam akan terurai menjadi molekul-molekul yang lebih kecil secara berurutan, dan hasil akhirnya akan menjadi glukosa seperti persamaan 1 (Kuc et al., 2017).

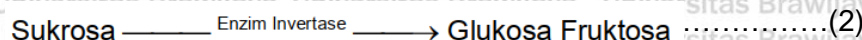


Proses reaksi kimia diatas adalah molekul-molekul pati awalnya akan pecah menjadi unit-unit rantai glukosa yang lebih pendek yang disebut dekstrin. Kemudian dekstrin dipecah lebih dalam menjadi maltose (dua unit glukosa) dan tahap akhir maltose akan dipecah menjadi glukosa.

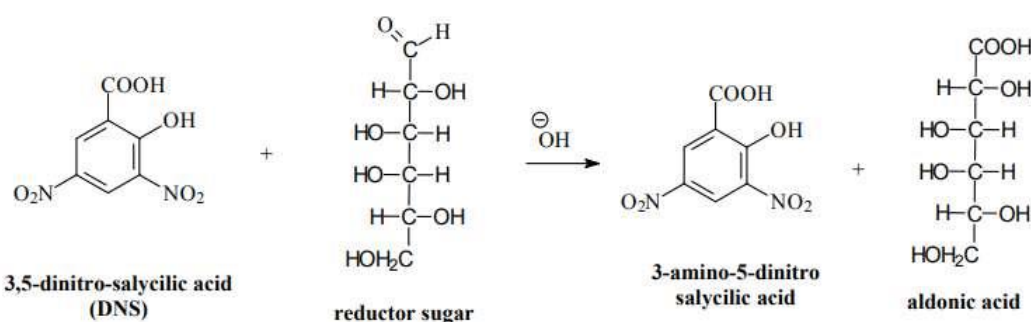
2.2.2. Gula Pereduksi

Gula pereduksi termasuk dalam golongan gula atau karbohidrat yang mampu mereduksi senyawa-senyawa penerima electron lainnya seperti glukosa dan fruktosa.

Gugus aldehida atau keton bebas merupakan bagian ujung yang terkandung didalam suatu gula pereduksi. Beberapa gula pereduksi adalah glukosa, fruktosa, galaktosa (Monosakirida), laktosa, maltose (Disakarida) adalah gula pereduksi kecuali sukrosa dan pati (Polisakarida). Kadar gula yang ditunjukan oleh kadar gula sebelum terjadinya inversi disebut gula pereduksi, sedangkan selisih kadar gula sebelum dan sesudah terjadinya inversi adalah sukrosa. Reaksi inversi gula ditunjukan dalam persamaan 2 (Wulandari, 2017):



Dalam proses tersebut gula berperan sebagai reduktor kimiawi dikarenakan adanya gugus aldehida bebas atau gugus keton yang terdapat didalam molekul tersebut. Pada proses medium basa, gula pereduksi mampu mengubah asam 3-5- dinitrosalisilat menjadi asam 3-amino-5-nitrosalisilat, proses tersebut karena gugus aldehida teroksidasi menjadi asam aldonat. Asam 3-amino-5-nitrosalisilat memiliki warna oranye, intensitas warna tersebut tergantung dari konsentrasi gula pereduksi. Natrium hidroksida memberikan reaksi glukosa dengan asam 3-5-dinitrosalisilat dengan alkalinisasi sedang. Selain asam 3-5-dinitrosalisilat, dalam metode ini juga digunakan garam Rochelles (Kalium natrium tartrat), fenol, natrium bisulfit, dan natrium hidroksida. Larutan fenol berfungsi untuk mengoptimalkan kuantitas warna yang dihasilkan dan natrium bisulfit berfungsi untuk menstabilkan warna dengan keberadaan fenol. Sensitivitas dari metode tersebut adalah dari 100 hingga 500 $\mu\text{g. mL}^{-1}$ gula reduksi. Kurva kalibrasi dan persamaan garis lurus diperoleh untuk mengukur sampel diperoleh dari larutan glukosa atau fruktosa standar (Toledo, 2012). Reaksi oleh reagen dengan gula pereduksi pada madu ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Reaksi reagen dengan gula pereduksi pada madu.

Sumber: Toledo, (2012).

Dalam penelitian Suhaela *et al.* (2016) semakin tinggi perlakuan pemanasan maka akan menyebabkan kadar gula pereduksinya semakin berkurang dikarenakan kandungan sukrosa pada madu akan terinvensi akibat pemanasan. Dengan adanya

asam selama proses pemanasan, sukrosa akan menjadi gula invert yaitu fruktosa dan glukosa yang merupakan gula pereduksi. Hal tersebut dikarenakan sukrosa bersifat non pereduksi atau tidak mempunyai gugus OH bebas yang reaktif. Penyimpanan dalam waktu yang lama juga akan menyebabkan penurunan kandungan gula pereduksi. Hal tersebut dikarenakan didalam madu terdapat aktivitas enzim yang dapat menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa (Savitri et al., 2017).

2.2.3. Brix

Brix adalah unit untuk mengukur tingkat kemanisan gula di dalam sebuah cairan (liquid). Sedangkan satuan yang digunakan untuk menyebutnya adalah derajat brix ($^{\circ}$ Brix), Brix dan persen brix (%Brix). Sebagai contoh perbandingan 1% brix setara dengan 1 gram gula yang terkandung di dalam 100 gram air. Semakin tinggi nilai brix dalam sebuah cairan maka semakin manis rasa yang terdapat di cairan atau produk makanan tersebut (Turkmen and eks., 2011).

Secara saintifik, Brix adalah unit yang dipakai saat mengukur seberapa banyak cahaya yang dibelokkan dalam medium air. Prinsip ini adalah prinsip refraksi. Cahaya yang menjalar di udara akan dibelokkan saat menjalar di air (dengan masa jenis yang lebih besar). Dalam ilmu pertanian, hukum refraksi ini bermanfaat untuk mengukur masa jenis senyawa biologis di dalam sari buah/sayuran, seperti: gula, asam amino, karbohidrat, dan senyawa lainnya. Semakin tinggi konsentrasi senyawa tersebut, semakin besar nilai derajat pembelokan refraksi. Gula yang terdapat di dalam jus (sari) sayur/ buah, dihasilkan melalui proses fotosintesis air dan karbon dioksida. Alat yang digunakan untuk mengukur Brix adalah refraktometer. (Turkmen and eks., 2011).

Menurut *The Europe Comission (EC) Directive* (2001) nilai Brix pada madu dengan jenis lebah *Apis sp.* Biasanya memiliki nilai brix berkisar antara 76 – 81,4%. Selanjutnya Ndife et al., (2014) menyatakan bahwa madu dengan nilai brix minimal 81,4% merupakan madu dalam golongan kualitas A. Dalam penelitian Khasanah (2017) bahwa nilai rata-rata brix madu adalah 76%.

2.2.4. Keasaman Madu (pH)

Keasaman (pH) madu adalah salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai penentu kualitas madu. pH dapat menunjukkan jumlah asam bebas per kg madu. Semakin meningkatnya kadar keasaman dalam madu merupakan suatu indikator telah terjadinya proses fermentasi dan proses transformasi alkohol menjadi asam organik. Wulandari (2017) menyimpulkan bahwa penyimpanan madu pada suhu dingin lebih disarankan daripada suhu ruang, karena pada suhu ruang tingkat kelembaban lebih tinggi, sehingga madu lebih mudah menyerap air, dengan kadar air tinggi akan lebih mudah menyebabkan terjadinya fermentasi. Hal inilah yang menyebabkan kadar keasaman madu pada suhu ruang lebih tinggi dari pada madu suhu dingin (Wulandari, 2017).

Ph madu yang rendah merupakan salah satu penghambat pertumbuhan bakteri secara alami. Madu memiliki nilai pH yang cukup asam yaitu sekitar 3,2 – 3,9. Hal tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri pathogen yang tumbuh di kulit maupun di saluran pencernaan lainya didalam tubuh. Bakteri pathogen sendiri kebanyakan hidup dalam pH antara 4,0 - 4,5 Aden R,(2010).

2.2.5. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan sebuah fluida. Semakin tinggi nilai viskositas maka semakin kental juga fluida tersebut dan semakin sulit untuk mengalir. Sebaliknya, semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah fluida tersebut mengalir. Viskositas dapat diartikan sebagai tahanan laju aliran fluida hal tersebut disebabkan terjadinya gesekan antara molekul-molekul cairan antara satu dengan yang lainnya. Dalam hokum aliran viscous, menurut Newton menyatakan terdapat hubungan antara gaya-gaya mekanika dari suatu aliran viskos yaitu : Geseran dalam Fluida memiliki nilai konstan sehubungan dengan gesekan fluida tersebut. Hubungan tersebut berlaku untuk jenis fluida Newtonia yaitu perbandingan antara tegangan geser yang dinyatakan dalam s dengan kecepatan geser dinyatakan dalam g memiliki nilai konstan. Parameter tersebut yang dinamakan viskositas suatu fluida (Bourne., 2002).

Dalam fluida yang memiliki viskositas kecepatan aliran fluida tidak semua sama. Fluida yang berada didekat dinding pipa akan memiliki nilai kecepatan 0 atau tidak bergerak ($v = 0$). Sedangkan lapisan fluida pada pusat pipa memiliki kecepatan yang paling besar (Padmanabhan, M. 1995).

Percobaan viskositas dapat dengan mudah ditunjukkan oleh 2 buah jenis fluida yang berbeda seperti madu dan air. Kedua bahan diletakan dalam tabung vertikal kemudain bagian atas di berikan gaya memutar dengan kecepatan v sedangkan bagian bawah akan stasioner (diam). Madu diperlukan gaya yang lebih besar untuk menggerakkan fluida tersebut sedangkan air diperlukan gaya lebih kecil untuk bergerak (Zaitoun at el., 2001).

Secara matematika, besarnya gaya viskositas dapat ditentukan berdasarkan persamaan 3:

$$F = k\eta v \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

F : gaya untuk menggerakkan lapisan fluida (N)

V : kecepatan aliran fluida (m/s)

η : koefisien viskositas (Ns/m²).

Kekentalan dalam madu dipengaruhi kadar air yang terkandung didalam madu tersebut. Menurut Apriani (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa standar viskositas madu adalah minimal 10 poise. selain itu kekentalan madu juga dipengaruhi oleh suhu, pada saat proses evaporasi dengan suhu 60°C madu akan memiliki viskositas yang rendah. Sedangkan madu akan memiliki viskositas lebih tinggi jika di bawah suhu evaporasi tersebut (Sihombing, 2005).

2.2.6. Kadar Air

Kandungan air madu (water-in-honey) merupakan aspek kualitas yang menjaga kondisi madu untuk tetap segar dan untuk menghindari terjadinya kerusakan karena fermentasi oleh ragi (Guo et al., 2010). Madu mentah dapat memiliki kandungan air dalam madu kurang dari 22% dan semakin rendah kadar air semakin tinggi kualitas dari madu. menurut standar nasional Indonesia bahwa madu yang berkualitas baik harus diproses dengan kadar air kurang dari 22%. Kandungan

air yang rendah sangat disarankan karena madu dapat mulai berfermentasi dan kehilangan kualitas kesegarannya jika air dalam madu lebih besar dari 22%. Madu akan mengalami fermentasi apabila tidak dilakukan pasteurisasi karena mengandung ragi perusak. Namun, karena konsentrasi gula yang tinggi dari madu, ragi ini cenderung menyebabkan fermentasi dalam madu karena kadar air masih tinggi. Madu dengan kadar air yang rendah dapat menyebabkan ragi memasuki tahap dorman sehingga mencegah proses fermentasi. Dalam madu dengan kadar air yang tinggi, ragi lebih cenderung menyebabkan fermentasi selama penyimpanan sehingga keasaman yang lebih tinggi secara langsung mempengaruhi kualitas madu (Guo et al., 2010).

Menurut White (1979), kadar air didalam madu juga menentukan umur simpan madu tersebut, kadar air yang tinggi akan menyebabkan terjadinya fermentasi oleh khamir dari *genus 6 Zygosacchaomyces*. Sehingga madu akan cepat rusak apabila tidak diturunkan nilai kadar airnya.

Madu sendiri sebenarnya sukar larut dalam air. Rahmani (2004) menyatakan bahwa madu sukar larut dalam air disebabkan karena sifat reology madu murni, selain itu madu juga memiliki nilai viskositas yang tinggi dengan beberapa kandungan senyawa sukar larut dalam air yang kompleks. Madu memiliki sifat higroskopik yang artinya menarik air dari udara, oleh karena itu pasca proses evaporasi madu harus langsung didinginkan dengan keadaan tertutup agar mengurangi terjadinya proses higroskopis (Sumoprastowo, 1980). Cuaca juga mempengaruhi keadaan kadar air madu yang dipanen dari daerah tertentu dengan musim intensitas hujan yang tinggi (White, 1992).

Kadar air madu juga dipengaruhi oleh RH, nilai RH yang kecil maka kadar air madu juga lebih rendah, sebaliknya jika nilai RH tinggi dilingkungan tersebut maka kadar air madu juga tinggi (Gojmerac, 1983). RH atau kelembapan relatif di Indonesia adalah 60% sampai 90%, madu yang dihasilkan dari Indonesia memiliki kadar air 18,3% hingga 33,1% (Sihombing, 2005).

2.2.7. Kerapatan Massa jenis

Massa jenis fluida umumnya dilambangkan dengan huruf ρ (rho), dengan massa fluida (m) per satuan volume (V). Massa jenis adalah berat khas dari suatu

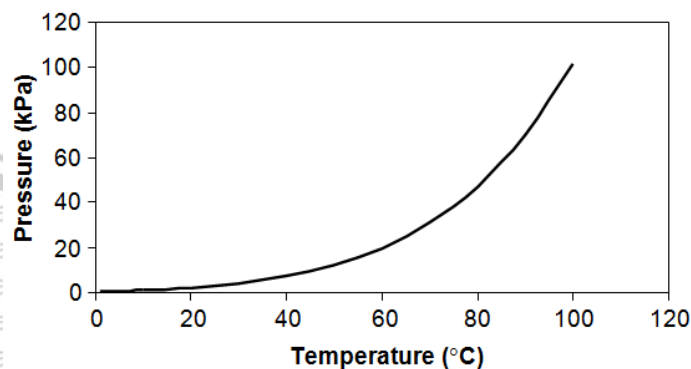
zat murni. Beberapa besaran yang mempengaruhi massa jenis diantaranya adalah temperatur dan tekanan (memiliki efek yang kecil untuk zat cair dan padat) (Giancoli, 2001). Kerapatan massa jenis dapat ditentukan dengan persamaan 4.

$$P = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (4)$$

Parameter kerapatan massa jenis dapat digunakan untuk menentukan apakah madu tersebut murni atau palsu (Istiani., 2008). karakteristik fisika madu yang terdaftar di BPOM memiliki nilai massa jenis sebesar 1,33 g/cm³ (Amalya., et al., 2016). Kerapatan massa jenis juga dapat mengetahui jumlah air yang terkandung didalam madu (James et al., 2009). Alat yang digunakan untuk mengukur kerapat massa jenis adalah piknometer.

2.3 Proses Pendingin Vakum (Vacuum Cooling Process)

Pendinginan vakum merupakan proses pendinginan berdasarkan pada penguapan air yang cepat dari permukaan dan di dalam produk itu sendiri karena tekanan di lingkungan sekitarnya lebih rendah. Panas laten yang diperlukan sebagai penguapan diperoleh dari dalam produk itu sendiri. Penguapan air secara langsung tergantung pada tekanan di sekitarnya, penurunan tekanan tersebut menyebabkan terjadinya penurunan suhu, seperti ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara suhu jenuh dan uap jenuh pada proses penguapan air

Air menguap pada 100°C pada tekanan atmosfer 101,3 kPa (1 atm), namun, air akan mulai menguap pada suhu yang lebih rendah (di bawah 100°C) ketika tekanan disekitarnya menurun hingga di bawah tekanan atmosfer (Ozturk et al.,

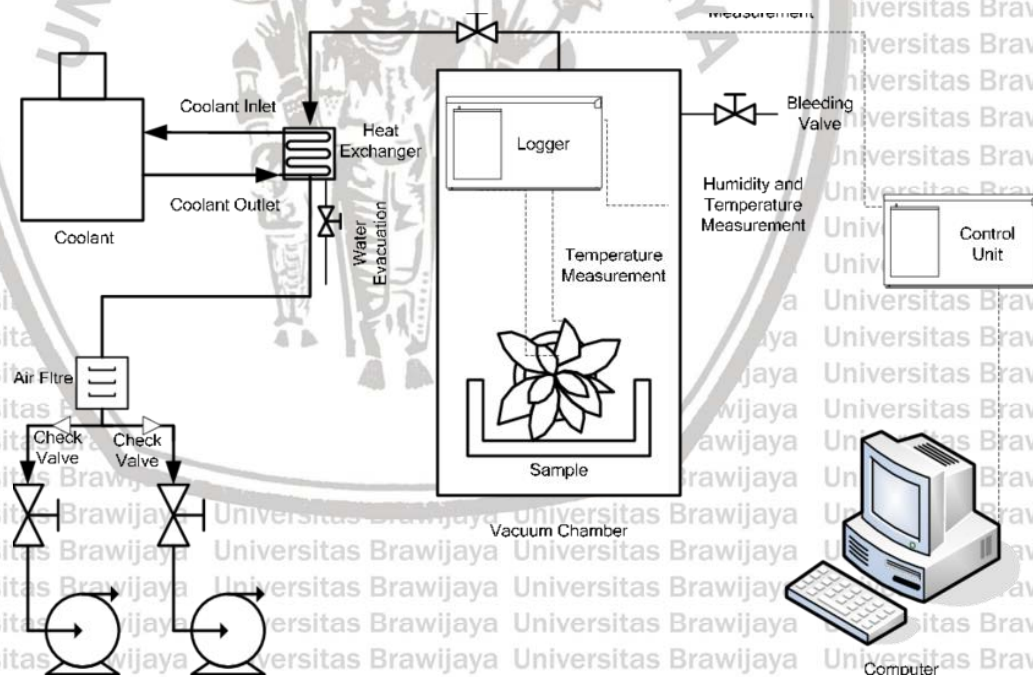
2011). Setiap produk yang mengandung air bebas ditempatkan di ruang tertutup kemudian tekanan didalam ruangan dikurangi dengan pompa vakum sampai dibawah tekanan atmosfer maka akan terjadi perbedaan tekanan antara air dalam produk dengan lingkungan sekitarnya sehingga menyebabkan penguapan, dan uap akan bergerak dari produk ke lingkungan atmosfer sekitarnya. Panas yang dikeluarkan dari produk selama proses tersebut akan sama dengan panas laten yang diperlukan untuk penguapan. Akibatnya, suhu produk mulai berkurang diikuti dengan penurunan tekanan dilingkungan sehingga terjadi proses pendinginan (Ozturk *et al.*, 2011). Untuk menjaga proses pendinginan yang stabil, diperlu untuk memvakum ruang secara terus menerus. Temperatur akhir yang diinginkan dari produk dapat dikontrol dengan menyesuaikan tekanan hingga suhu produk yang diinginkan tercapai (Ozturk *et al.*, 2011).

Pendinginan vakum merupakan salah satu metode pendinginan paling efektif untuk mendinginkan beberapa bahan pangan seperti buah segar, sayuran, bunga potong, aneka produk olahan daging, ikan, soup dan saus (Shewfelt dan Phillips., 1996). Bagian sistem pendingin vakum terdiri dari ruang vakum, pompa vakum dan kondensor uap. Bahan yang didinginkan kemudian dimasukkan ke dalam ruang vakum selanjutnya sistem dijalankan. Air yang telah diuapkan dari produk didalam ruang vakum harus dibuang melalui katup pompa vakum untuk mencegah terjadi udara jenuh, yang akan mempengaruhi proses penguapan selanjutnya sehingga proses pendinginan tidak efisien. Kondisi vakum terjadi didalam ruang vakum dengan pompa vakum sebagai penyedot udara didalam ruangan. Ketika pompa vakum mulai bekerja kemudian terjadi kondisi vakum didalam ruangan bejana, tekanan di dalam ruangan vakum mulai berkurang menjadi tekanan saturasi sesuai dengan suhu awal produk, oleh karena itu terjadi proses penguapan air dari dalam produk makanan sampai kondisi kesetimbangan suhu produk baru tercapai. Dalam pendinginan vakum mekanis, uap air dilewatkan di atas koil berpendingin di mana uap air mengembun di permukaan yang dingin kemudian dialirkan ke saluran pembuangan. Jika uap air tidak dihilangkan, pompa vakum membutuhkan tenaga yang sangat besar untuk menghilangkan uap, karena setiap kilogram air akan mengembang hingga sekitar 2.000 m³ uap pada tekanan rendah yang digunakan dalam pendingin vakum. Pendinginan vakum menyebabkan penguapan sejumlah besar uap air dari dalam produk makanan yang didinginkan didalam ruangan

pendingin (Barger, 1961). Uap yang dibuang dari ruang dikeluarkan oleh pompa vakum melalui kondensasi kemudian didinginkan dengan kondensor didalam bak penampung air.

Alur tahap proses pendinginan vakum adalah sebagai berikut: Ruang vakum digunakan sebagai tempat menyimpan produk makanan yang akan didinginkan.

Setelah memasukkan produk makanan ke dalam ruang vakum, kemudian pintu ruangan ditutup dan pompa vakum dihidupkan. Ketika proses berjalan, tekanan dalam ruangan berkurang dan air mulai menguap, sehingga suhu didalam produk makanan tersebut mulai berkurang. Pendinginan makanan terjadi secara terus menerus hingga mencapai suhu produk yang diinginkan. Ketika suhu yang ditentukan tercapai, pompa dihentikan, kemudian katup ventilasi dibuka dan udara dari lingkungan masuk ke dalam ruangan. Setelah proses selesai, kemudian produk yang didinginkan telah selesai didinginkan selanjutnya dikeluarkan dari ruang vakum dan disimpan pada suhu yang disarankan (Ozturk *et al.*, 2011).



Gambar 3. Diagram skematis dari sistem pendingin vakum

Sumber : Ozturk, H. M., et al., (2011).

2.3.1. Keuntungan Pendingin Vakum

Terdapat beberapa keuntungan dari penggunaan sistem pendingin vakum, diantaranya adalah sebagai berikut. Waktu pendinginan produk relative sangat singkat, seperti dalam mendinginkan daging dari suhu 70°C menjadi suhu 4°C hanya memerlukan waktu kurang dari 2 jam (Sun & Wang, 2000). Perbedaan proses pendinginan antara pendinginan vakum dan pendinginan konvensional adalah terdapat perbedaan mekanisme pendinginan dari kedua proses tersebut.

Pada proses pendinginan vakum pendinginan dengan cara penguapan air bebas dalam produk yang didinginkan, sedangkan yang kedua dengan cara perpindahan panas secara konduktif. Karena rasio perbandingan transfer panas konduktif ke evaporatif adalah 1:16 (Sun & Wang, 2000), oleh sebab itu metode pendinginan vakum lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional. Karena laju pendinginan yang sangat cepat ini, pendinginan vakum telah terbukti memberikan banyak manfaat bagi industri pengolahan makanan, seperti mempersingkat waktu penyimpanan produk untuk didinginkan sebelum proses pengemasan, meningkatkan produksi, meminimalisir terkontaminasi dan pertumbuhan mikroba, (Wang dan Sun, 2001c). selain itu pendistribusian suhu yang merata didalam produk itu sendiri karena terjadi penguapan air didalam atau dipermukaan produk itu sendiri (Malpas, 1972). Penguapan air dengan suhu yang seragam ini juga menyebabkan produk terjaga kualitasnya dan dapat menekan terjadinya kerusakan pada produk (Acker & Ball, 1977; Shipman, 1978). Selain hal di atas, proses pendinginan vakum lebih higienis karena udara hanya masuk ke ruang vakum di akhir proses ketika ruang vakum dibuka untuk melepaskan vakum. Pengontrolan terhadap suhu produk juga dimungkinkan lebih tepat selama proses pendinginan vakum (Longmore, 1973).

2.3.2. Prinsip Termodinamika Pendinginan Vakum

Prinsip pendinginan vakum didasarkan pada mekanisme perpindahan panas penguapan (Wang & Sun, 2001, 2004; Sun & Zheng, 2006). Titik didih air berkurang seiring terjadinya perubahan penurunan tekanan. Oleh karena itu, untuk produk

berpori dengan kadar air bebas yang tinggi, penurunan tekanan di sekitarnya dapat meningkatkan penguapan permukaan dan kelembapan internal pada suhu rendah sehingga terjadi pelepasan panas dan pendinginan yang cepat. Namun, tekanan di lingkungan sekitar harus dikontrol untuk mencegah kerusakan akibat suhu dingin dan pembekuan terhadap produk yang didinginkan (Feng *et al.*, 2012b).

Bagian utama proses pendingin vakum terbagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama adalah suhu konstan dan tahap depressurization, pada kondisi tersebut tidak ada pendinginan yang terjadi pada tahap ini. Tahap ke dua, ketika tekanan turun menuju tekanan saturasi yang sesuai dengan suhu awal produk (titik didih), air mulai menguap dan terjadi proses pendinginan. Dengan penguapan kelembapan dan uap yang terus menerus konstan, menyebabkan suhu turun dengan cepat ke tingkat yang diperlukan. Tahap ketiga adalah tahap pemulihan tekanan, saat katup ventilasi dibuka dan udara mengalir ke dalam ruang untuk memulihkan tekanan di sekitarnya. Untuk pendinginan dengan cairan, proses pendinginan juga dapat dibagi menjadi sebelum perebusan, selama perebusan dan setelah perebusan berdasarkan titik nyala (Song, *et al.*, 2015).

Dalam proses pendinginan adanya pendekatan analisis teoritis sederhana proses pendinginan vakum berdasarkan prinsip-prinsip hukum termodinamika. Analisis ini terbatas pada kehilangan massa berdasarkan penurunan suhu yang diamati selama proses pendinginan vakum (Ozturk, H. M., & Hepbasli, A. 2017).

Rata-rata Panas Spesifik (C_{avg}) dari setiap bahan yang didinginkan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_{avg} = 3349a + 837.36 \text{ (J/kgK)} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana (a) adalah kandungan airnya. Misalnya, kadar air produk yang akan didinginkan adalah 85% massa dari beratnya. Oleh karena itu, panas spesifik bahan adalah:

$$C_{produk} = 3684.01 \text{ J/kgK} \dots \dots \dots (6)$$

Kemudian panas yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu 1 kg suatu produk dari 25°C ke 5°C dapat dihitung dengan persamaan berikut Ozturk, H. M., & Hepbasli, A. (2017).

$$Q = mC\Delta T \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

Q = Banyak kalor yang dibutuhkan (J)

m = massa bahan (kg)

C = Kalor Jenis (J/kg°C)

ΔT = Perubahan Suhu (°C)

2.3.4. Analisis Energi dan Massa Sistem Pendingin Vakum.

Ozturk., & Hepbasli, A. (2017) menyatakan bahwa dalam proses pendinginan vakum, tekanan didalam ruangan vakum pendinginan perlu dikurangi. Untuk pendinginan vakum, tekanan menurun dari tekanan atmosfer ke tekanan vakum pada volume konstan. Kemudian nilai energi (W_{rev}) yang digunakan dapat di jelaskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$W_{rev} = VdP \dots\dots\dots (8)$$

Misal volume ruang vakum diambil sebagai 29 liter (0,029 m³) dan tekanan atmosfer dianggap sebagai 101,3 kPa, maka :

$$W_{rev} = 0.029 \times 101.3 = 2.93 \text{ kJ} \dots\dots\dots (9)$$

Menurut penelitian Ozturk, H. M., & Hepbasli, A. (2017) bahwa pendinginan vakum mengkonsumsi energi sekitar 2 kali lebih sedikit dari pada sistem pendinginan konvensional. Rosanti (2016) menyatakan bahwa terdapat hubungan antara hukum kekekalan massa dengan keseimbangan massa. Massa yang terdapat didalam suatu sistem tertutup tidak akan berubah meskipun terjadi berbagai macam reaksi di dalam sistem disebut hukum kekekalan massa. Suatu zat pada ruangan tertutup dikatakan seimbang jika banyaknya massa yang berubah terhadap waktu sama dengan banyaknya massa yang masuk dalam ruangan dikurangi

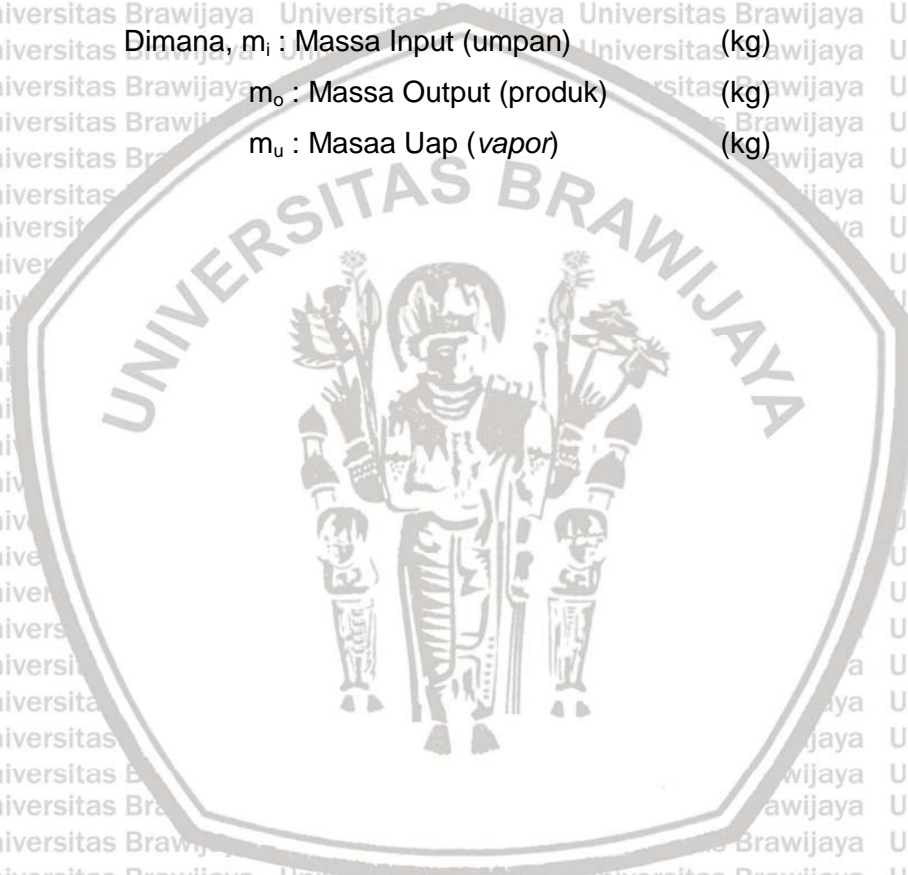
dengan banyaknya massa yang keluar dari ruangan. Berdasarkan neraca massa, selanjutnya akan diketahui berapa jumlah input madu yang dimasukan dan output madu yang dihasilkan dari proses pendinginan vakum, serta jumlah air yang diuapkan dri proses pendinginan vakum. Pernyataan tersebut dituliskan dalam persamaan 10.

$$m_i = m_o + m_u \quad \text{.....(10)}$$

Dimana, m_i : Massa Input (umpan) (kg)

m_o : Massa Output (produk) (kg)

m_u : Masaa Uap (vapor) (kg)



BAB III KERANGKA PEMIKIRAN

3.1 Kerangka Berfikir

Tahap – tahap proses penanganan madu yang telah dipanen dari sarangnya dalam skala industri adalah sebagai berikut. Tahap pertama madu yang telah datang dari petani disimpan didalam drum penampung kemudian dilakukan pasteurisasi dengan alat pasteurisasi double jaket sampai suhu 70°C, madu tidak boleh dipanaskan dengan suhu lebih dari 70°C karena akan merusak kandungan madu. Kemudian kadar air madu diukur, apabila kadar air dibawah 22% maka madu tidak perlu dievaporasi dan langsung didinginkan untuk proses pengemasan. Tujuan pasteurisasi ini adalah untuk mengurangi bakteri perusak madu, mencegah kristalisasi, selain itu juga untuk mengurangi gelembung pada saat proses evaporasi apabila kadar air lebih dari 22%. Tahap kedua adalah proses evaporasi, biasanya digunakan alat evaporator vakum untuk menurunkan kadar air madu hingga kurang dari 22% dengan suhu yang digunakan maksimal adalah 65°C. Tahap ketiga adalah proses pendinginan madu yang telah melalui proses pemanasan, apabila madu langsung dikemas dalam kondisi masih panas maka akan merusak kemasan dan menyebabkan kandungan madu tercemar oleh kerusakan bahan pengemasan akibat suhu madu yang masih panas (Wibowo., S.A, *et al.*, 2021). Fakta lain di lapangan menunjukkan proses pendinginan tersebut kurang menjadi perhatian para pelaku agroindustri, sehingga mutu madu yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar SNI 8664-2018, maupun Codex.

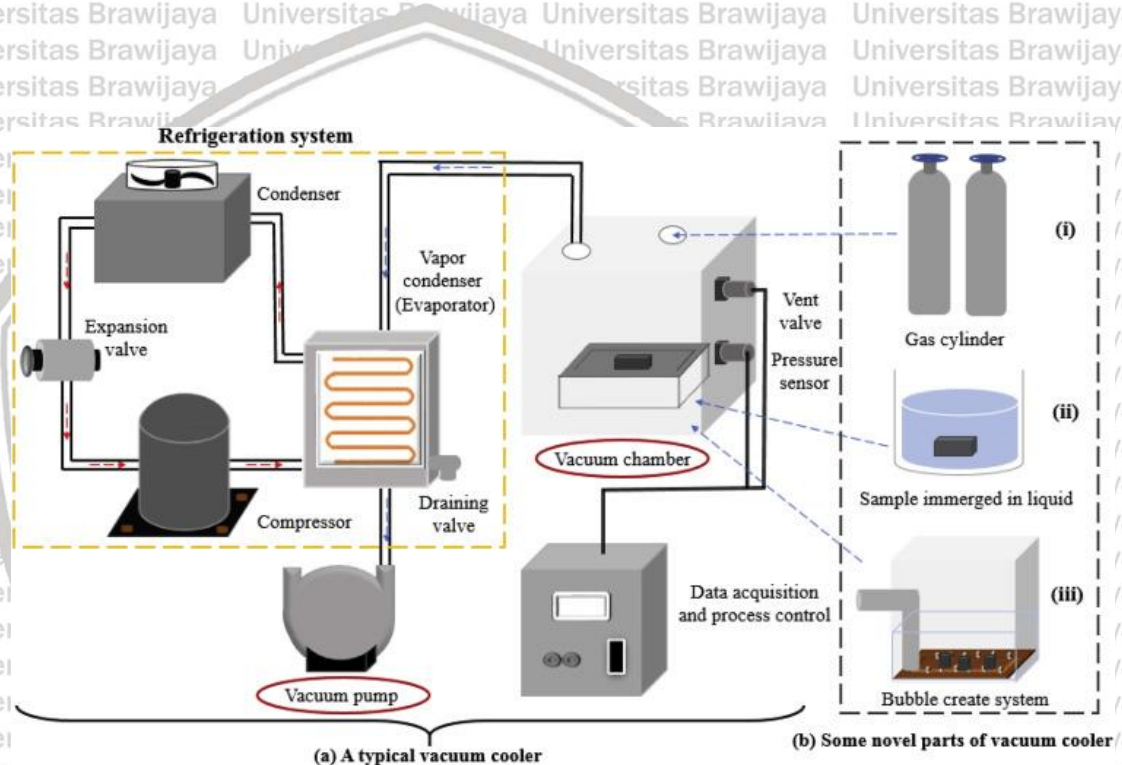
Sampai saat ini proses pendinginan dilakukan dengan cara diangin-anginkan atau madu dibiarkan terbuka udara hingga suhu bahan menjadi suhu ruang. Hal tersebut sebenarnya dapat memicu kerusakan terhadap kualitas madu karena suhu panas madu yang tersimpan lebih lama pada saat pendinginan konvensional. Enzim diastase merupakan salah satu kualitas mutu madu yang rentan terdegradasi oleh perlakuan suhu panas. Panas yang tersimpan lebih lama pada pendinginan konvensional menyebabkan penurunan nilai enzim diastase. Selain itu lama waktu pendinginan juga dirasa tidak ekonomis jika proses pengolahan madu dalam skala

industri, karena pendinginan hanya mengandalkan penguapan panas bahan madu menuju ke suhu lingkungan sekitar. Untuk itu diperlukan suatu teknik pendinginan madu dengan suhu terkendali dimana sistem pendinginannya dilakukan dengan cepat tanpa media pindah panas dan berlangsung dalam satu bejana. Dengan demikian selain mutu olahan madu bisa dijaga akan menghemat peralatan, ruang proses, tenaga kerja, input energi dan lama proses.

Kecepatan pendinginan madu setelah diproses hingga suhu madu mencapai suhu 35°C sangat berpengaruh pada penurunan mutunya. Berdasarkan hasil studi pada penelitian pendahuluan, madu yang didinginkan cepat dengan teknik pendingin vakum mampu menahan 20 – 25 % mutu relatifnya dibandingkan pendinginan konvensional. Pendingin vakum adalah teknik pendinginan secara cepat dengan prinsip evaporasi yaitu menurunkan titik didih air berdasarkan tekanan vakum didalam ruang pendingin. Dikaji lebih dalam oleh penelitian Lastrynto., *et al.*, (2011) tentang laju penguapan pada proses evaporasi dengan menggunakan metode *eksponential decay* untuk menentukan konstanta laju penguapan air. Dalam penelitian ini laju penguapan air didefinisikan sebagai laju pendinginan. Prinsip pendinginan vakum didasarkan pada mekanisme perpindahan panas penguapan (Wang & Sun, 2001, 2004; Sun & Zheng, 2006). Titik didih air berkurang seiring terjadinya perubahan penurunan tekanan. Namun, tekanan di lingkungan sekitar harus dikontrol untuk mencegah kerusakan akibat suhu dingin dan pembekuan terhadap produk yang didinginkan (Feng *et al.*, 2012b). Dalam penelitian ini alat pendingin vakum digunakan untuk melakukan proses pendinginan secara mekanis terhadap madu setelah dilakukan proses pemanasan dan sebelum dilakukan pengemasan. Bagian utama alat pendingin vakum sistem jet air terdiri dari ruang vakum, kotak sistem kontrol, sensor suhu, kondensor pendingin air, pompa vakum, bak penampung air.

Pendingin vakum memiliki konstruksi khusus sesuai dengan kapasitas penggunaan dan karakteristik produk yang akan didinginkan. Bagian utama dan komponen dari sistem pendingin vakum ditunjukkan pada gambar 4, a: Sistem vakum mencakup ruang vakum dan pompa vakum. Ruang vakum adalah wadah tertutup tempat produk dimasukkan selama proses pendinginan. Pompa vakum digunakan untuk mengurangi tekanan ruang vakum ke tingkat yang diperlukan dan

menghilangkan uap yang menguap dari produk yang didinginkan. Namun, untuk menghindari pembentukan uap air dalam jumlah besar yang dapat meningkatkan beban pompa, kondensor uap digunakan sebagai pompa vakum tambahan untuk menjaga tekanan stabil dengan cara mengembunkan uap parsial kemudian mengalirkannya melalui katup. Sistem refrigerasi yang digunakan pada *vacuum cooler* menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap (Zhu, *et al.*, 2019).



Gambar 4. Bagian utama dan komponen dari sistem pendingin vakum.

sumber : Zhu, *et al.*, (2019)

Beberapa penelitian terdahulu tentang sistem pendingin vakum dan penerapannya dalam 5 tahun terakhir di jelaskan dalam tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Penelitian terdahulu tentang sistim pendingin vakum (*vacuum cooling*)

| No. | Judul Penelitian | Peneliti dan Tahun | Bahasan Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|--|--|--|--|
| 1. | Effects of initial temperatures on vacuum film cooling and vacuum spray cooling on apple juice and milk | Zhiwei Zhu, Ying Li, Da-Wen Sun. Tahun 2020 | Untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan suhu awal pada pendinginan film vakum (VFC) dan pendinginan spray vakum (VSC) pada jus apel dan susu dibandingkan dengan air terhadap senyawa volatile dan laju penguapan | 1. Hasil penelitian menunjukan bahwa proses VFC dan VSC menurunkan kandungan senyawa volatile dalam jus apel dan susu secara signifikan. 2. suhu awal yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak kehilangan senyawa volatil di jus apel dan susu |
| 2. | Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review | Zhiwei Zhu, Yi Geng, Da-Wen Sun. Tahun : 2019 | 1. Review penelitian tentang <i>vacuum cooling</i> 2. Upaya untuk meningkatkan kinerja VC. 3. Dalam ulasan ini, basic dasar VC dan penerapannya untuk buah, sayuran dan produk daging serta batasannya dijelaskan terlebih dahulu. 4. Perbaikan untuk meningkatkan kinerja teknologi ini dalam hal proses pengoprasian termasuk pra-perawatan, optimalisasi teknis dan integrasi, serta peningkatan penggunaan peralatan, dan kondisi operasi yang | 1. Hasil yang disajikan dalam tinjauan ini menunjukkan bahwa mengoptimalkan proses operasi dan mengontrol kondisi operasi dapat secara efektif meningkatkan kinerja VC diantaranya kehilangan massa, laju pendinginan, dan konsumsi energi serta distribusi suhu. 2. penelitian kedepan tentang VC adalah studi tentang karakteristik |

3. Effects of modified atmosphere vacuum cooling (MAVC) on the quality of three different leafy cabbages

: **Zhiwei Zhu, Xinwei Wu, Yi Geng, Da-Wen Sun, Haiyang Chen, Yongjun Zhao, Wenqing Zhou, Xianguang Li, Hongzhun Pan.**

Tahun : 2018

4. Experimental performance assessment of a vacuum cooling system through

Hande Mutlu Ozturk, Arif Hepbasli.

Tahun : 2017

dioptimalkan seperti tekanan akhir dan tingkat pengurangan tekanan dibahas dalam artikel ini.

perubahan kelembaban berdasarkan karakteristik makanan dan optimalisasi multi-fungsi dari proses atau sistem VC

1. Campuran gas yang terdiri dari 7% O₂, 7% CO₂ dan 86% N₂ dimasukan ke ruangan untuk memodifikasi penyimpanan atmosfer. 2. Tiga jenis kubis dengan struktur morfologi yang berbeda, diantaranya kubis berbunga, kubis Cina dan kubis hijau diolah dengan MAVC dan disimpan selama 21 hari di bawah suhu $4 \pm 0,5$ ° C, kelembaban relatif dikendalikan pada kisaran 90% - 95% 3. Perubahan warna, skor sensorik, asam askorbat, klorofil, laju respirasi, aktivitas peroksidase (POD) dan katalase (CAT) diukur selama periode penyimpanan

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MAVC mencapai nilai maksimum warna, skor sensorik, asam askorbat, klorofil dan CAT, serta menurunkan laju respirasi dan aktivitas POD selama penyimpanan. 2. Analisis komparatif pada ketiga kubis menemukan bahwa karakteristik morfologi daun yang berbeda bukanlah faktor utama yang mempengaruhi retensi gas selama MAVC, dan ruang antar daun mungkin memiliki dampak yang lebih besar pada kualitas kubis dalam kondisi kontrol.

1. mengetahui pengaruh analisis eksergi, efisiensi energi dan Koefisien Kinerja (COP) dari

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai COP dari pendingin vakum mencapai

exergy analysis
method

pendinginan vakum.

12 dan efisiensi

2. Kinerja sistem

eksergi

pendingin vakum

maksimum 80

menggunakan

persen untuk

bahan jamur

suhu 23,9 °C.

(Agaricus Bisporus)

2. nilai efisiensi

energi dan nilai

COP untuk

pendinginan

vakum dicapai

pada tekanan

terendah.

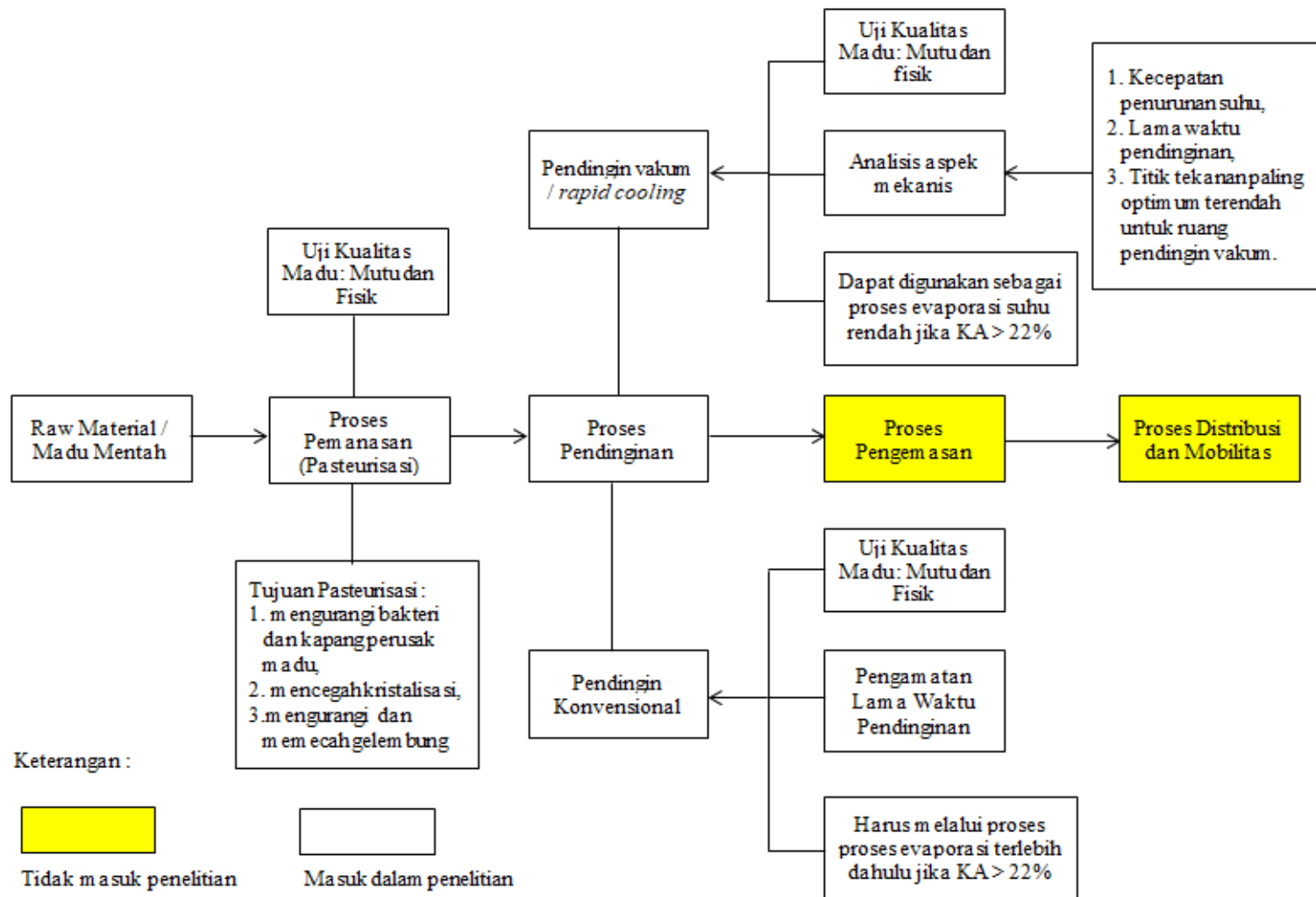
Dari beberapa penelitian terdahulu tersebut, mekanisme dan metode pendingin vakum dapat digunakan sebagai pendingin cepat pada proses pengolahan pascapanen madu. Penelitian ini akan membahas tentang analisis mekanis penggunaan alat pendinginan vakum sistim jet air pada proses pendinginan cepat madu setelah proses pemanasan serta mengamati perubahan hasil kualitas madu yang didinginkan. Parameter kualitas madu yang diamati adalah perubahan kualitas mutu madu seperti aktivitas enzim diastase, gula pereduksi, brix, pH sedangkan kualitas fisik madu seperti viskositas, kadar air, kerapatan massa jenis keduanya dijadikan parameter utama untuk melihat kualitas madu setelah proses pendinginan. Selain itu perlu diketahui aspek mekanis dari alat pendingin vakum sistim jet air. Parameter analisa aspek mekanis meliputi lama waktu proses pendinginan, laju penurunan suhu, dan tekanan maksimum terendah. Kedua parameter tersebut selanjutnya di bandingkan dengan parameter pengamatan pada proses pendinginan konvensional sebagai perlakuan kontrol. Gambar 5. menunjukkan bagan kerangka berpikir dalam penelitian ini.

3.2 Hipotesis

- Proses pendinginan madu dengan menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air lebih cepat dibandingkan pendinginan secara non-mekanis (pendinginan konvensional).
- Nilai laju pendinginan dengan pendingin vakum lebih besar dibandingkan pendinginan konvensional.

c. Kualitas madu yang dihasilkan dari proses pendinginan cepat (*rapid cooling*) dengan alat pendingin vakum sistim jet air dapat lebih baik dibandingkan pendinginan konvensional.





Gambar 5. Bagan kerangka berpikir penelitian pendingin vakum

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan januari – februari 2021. Pendinginan dilakukan dengan menggunakan prototype pendingin vakum sistim jet air skala laboratoium di Laboratorium Lastrindo Engineering, Malang. Sedangkan analisis kandungan madu dilakukan di Laboratorium Lastrindo Engineering Jl, Rajekwesi 11 Klojen, Kota Malang.

4.2 Alat dan Bahan

4.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Prototype pendingin vakum sistim jet air tipe 1 yang dirangkai oleh Bapak Anang Lastriyanto, sebagai alat untuk pendingin madu.
2. Kompor gas *mini portable 2 in 1* merek Cookmaster, *made in Indonesia*, sebagai sumber pemanas tabung evaporasi untuk memanaskan madu
3. Panel kontrol, diproduksi oleh Lastrindo Engineering, Indonesia. sebagai pusat pengaturan sistem prototype.
4. Termokopel tipe K Teflon, *made in China* sebagai sensor suhu untuk madu didalam tabung pendingin yang terhubung dengan panel kontrol.
5. Manometer (wiebrock), *made in Taiwan* sebagai alat ukur besarnya tekanan didalam ruang tabung pendingin.
6. Pompa Vakum (Grundfos UPA 120), *made in Taiwan* dan *Water jet*, sebagai alat untuk mengkondisikan ruang proses menjadi tekanan vakum (Hampa udara).
7. Rangkaian *Stainless steel 304*, sebagai bak air dan penyangga tabung pendingin.
8. Stopwatch, sebagai alat ukur waktu

9. *Moisture analyzer* (Shimadzu MOC 120H), *made in japan* sebagai alat ukur kadar kadar air
10. *Portable Hand Refraktometer* Brix 60 – 92%, sebagai alat untuk mengukur °Brix madu
11. *Picknometer* 50ml, Sebagai alat ukur kerapatan massa jenis madu.
12. *Viscometer* (NDJ-1S), *made in China* sebagai alat untuk mengukur viskositas bahan.
13. Ph Meter digital (ATC-009), sebagai alat ukur Ph madu.
14. *Visible Spectrophotometer* (721 350-1020 nm), *made in China* alat untuk membaca nilai absorbansi sampel untuk mengukur gula pereduksi dan enzim diastase.
15. *Kuvet quartz*, sebagai wadah sampel pada saat pembacaan absorbansi
16. Pengaduk, sebagai alat untuk menghomogenkan larutan.
17. Timbangan Digital Mini Digital Platform Scale 0.1g (i2000), sebagai alat untuk mengukur massa bahan.
18. Gelas ukur Herma 10 ml, sebagai alat untuk mengukur volume larutan.
19. Labu ukur Herma 50 ml dan 100 ml, sebagai alat untuk mengencerkan dan membuat larutan.
20. Gelas beaker Iwaki 100 ml, sebagai wadah dalam mencampurkan sampel.
21. *Heater Nanotech* 1 ltr NT-1703 *Multicooker*, sebagai alat pemberi perlakuan panas pada uji diastase.
22. Bulb (merk D&N), sebagai alat untuk memindahkan sejumlah volume cairan.
23. Pipet ukur Iwaki 1 ml, 10 ml dan pipet tetes, sebagai alat untuk mengambil cairan dari gelas beker.
24. Erlenmeyer Herma 100 ml dan 250 ml, sebagai wadah untuk proses pemanasan sampel.
25. Statif, sebagai penjepit erlenmeyer dan buret.
26. Spatula, sebagai alat untuk mengambil sampel atau bahan kimia lain.
27. Termometer Raksa, untuk mengukur suhu air pada heater.
28. Rak tabung reaksi, Sebagai tempat tabung reaksi.
29. Midi data logger GL 200a, *Graptch made in USA* untuk mencatat data pada saat pengambilan data.

4.2.2 Bahan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

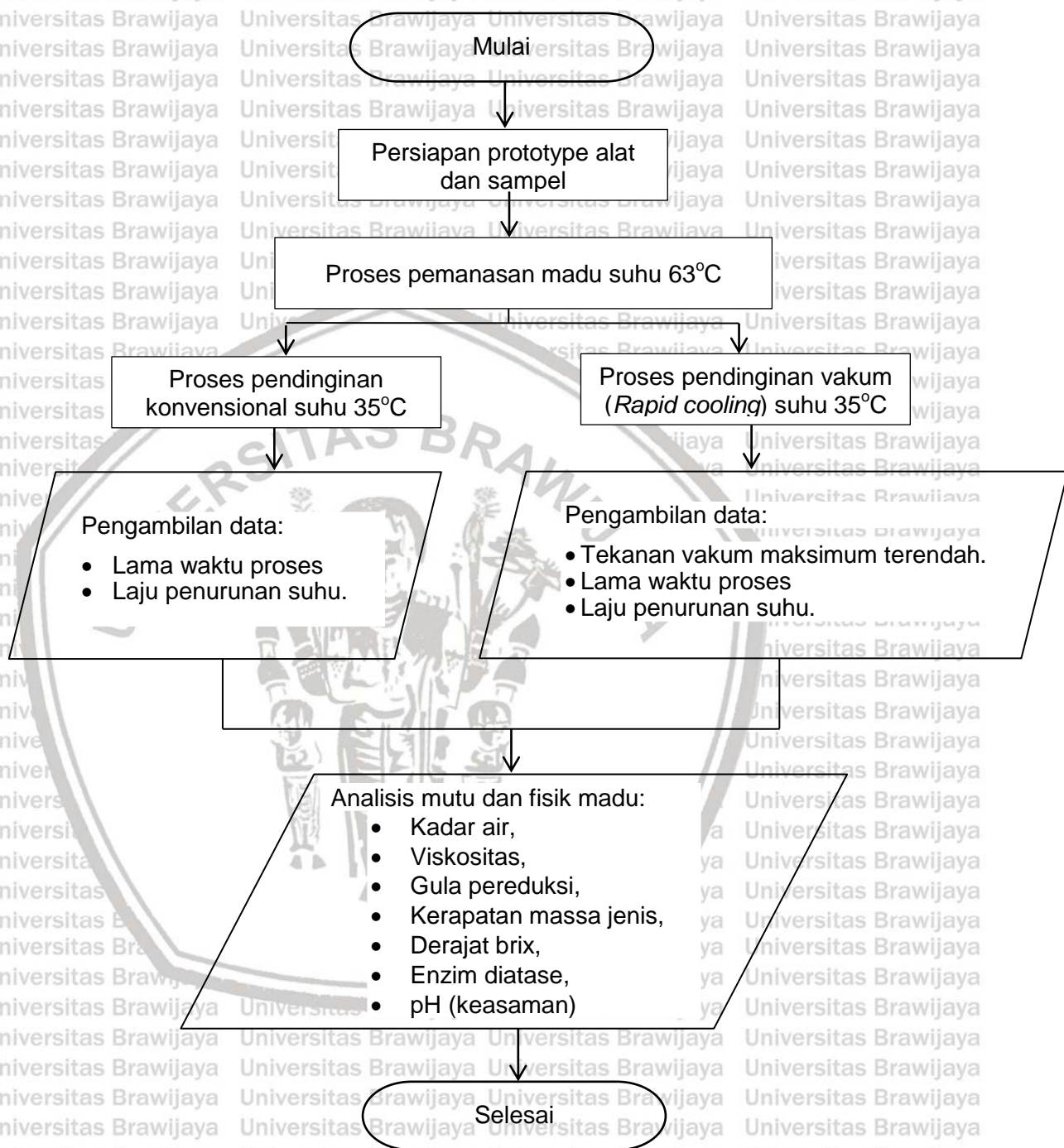
1. Madu hutan riau dengan jenis lebah *apis dorsata*, dengan spesifikasi madu adalah sebagai berikut, kadar air 18,68%, nilai viskositas 7,676 poise, nilai kerapatan massa jenis 1,481 g/cm³, nilai Brix 74,6%, enzim diastase 3,156 DN, nilai gula pereduksi 62,960%, nilai keasaman 37,333%. Madu diperoleh dari pencari madu hutan di Provinsi Riau, sebagai bahan perlakuan dan diambil pada bulan September 2020.
2. Gas LPG, Sebagai sumber bahan bakar pemanas.
3. Es batu, sebagai media pendingin air dalam bak pompa vakum.
4. Aquades untuk pengencer bahan kimia yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
5. Glukosa standar teknis digunakan untuk membuat larutan glukosa standar yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
6. DNSA (3,5 dinitrosalicylic acid) PA (Sigma Aldrich, C 128848-500G) bahan untuk membuat reagen uji gula pereduksi.
7. Potassium sodium tartrate (KNaC₄H₄O₆·4H₂O) teknis bahan untuk membuat reagen uji gula pereduksi yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
8. NaOH teknis, bahan untuk membuat reagen uji gula pereduksi yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
9. Natrium hidroksida (NaOH 0,01 N) dan Indikator PP, bahan untuk menguji keasaman yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
10. Amilum soluble analisis merck, sebagai peraksi dalam penentuan enzim diastase yang didapatkan dari CV. Panadia Laboratory, Malang.
11. Iodine Analisis, bahan untuk reagen dalam penentuan enzim diastase yang didapatkan dari CV. PHY Edu Laboratory.
12. Pottasium iodide analisis sebagai reagen dalam penentuan enzim diastase yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.
13. Nacl Analisis, sebagai peraksi dalam penentuan enzim diastase yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.

14. Buffer asetat, sebagai larutan penyangga untuk sampel uji yang didapat dari CV. Sari Kimia Raya, Malang.

4.3 Metode Penelitian.

Diagram alir penelitian *rapid cooling* dengan sistim jet air untuk madu ditampilkan pada gambar 6.



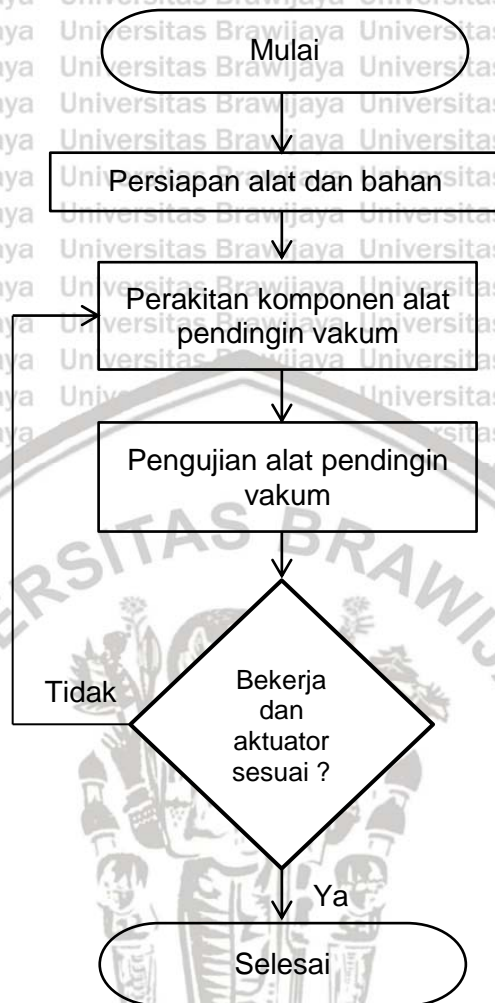


Gambar 6. Diagram alir penelitian *rapid cooling* untuk madu

4.3.1 Persiapan Prototype Alat Pendingin Vakum Sistim Jet Air

Dalam penelitian ini penulis menggunakan prototype alat pendingin vakum termodifikasi untuk skala laboratorium yang dibuat di Laboratorium Lastrindo Engineering. Beberapa komponen utama alat pendingin vakum sistim jet air adalah tabung pendingin, pompa vakum tipe *water jet pum*, bak isolator untuk sirkulasi air dingin, kompor pemanas, kotak panel kontrol, sensor suhu, saluran selang, dan rangka. Tabung pendingin yang digunakan adalah *boiling threeneck pyrex* (labu didih) dengan kapasitas 1000 ml, tujuannya untuk mengetahui terangkatnya gelembung bahan pada saat proses berjalan.

Pasangkan tabung pendingin pada kedudukan rangka yang terpasang diatas bak penampung air. Kemudian siapkan pemanas tepat di bawah tabung pendingin dengan tujuan untuk dilakukan proses pemanasan (pasteurisasi dan evaporasi). Pemanasan dilakukan dengan penetrasi panas melalui bejana yang diisi air (*double jacket*) dengan sumber panas di peroleh dari api kompor. Selajutnya hubungkan leher satu tabung pendingin ke pompa vakum melalui selang yang sudah dilengkapi dengan alat pengukur tekanan yang terhubung ke *midi logger gl-200a*, leher kedua sebagai tempat sensor suhu yang di hubungkan dengan *data logger gl-200a* untuk merekam perubahan suhu madu, dan leher ke tiga sebagai input dan output sampel. Hubungkan pompa dan sensor suhu ke panel kontrol untuk mengatur suhu dan nyala pompa vakum. Panel kontrol dilengkapi dengan display untuk menunjukkan pembacaan dari nilai suhu dan setting point suhu. Bak air yang digunakan berbahan stainless dan dilapisi dengan sterofoum sebagai isolator untuk mengurangi kehilangan panas. Selanjutnya isi bak air dengan air dingin yang ditambahkan es sebagai pendingin. Diagram alir persiapan prototype pendingin vakum sistim jet air ditunjukkan pada **gambar 7**. dan gambar alat pendingin vakum sistim jet air dapat dilihat pada **gambar 8**.



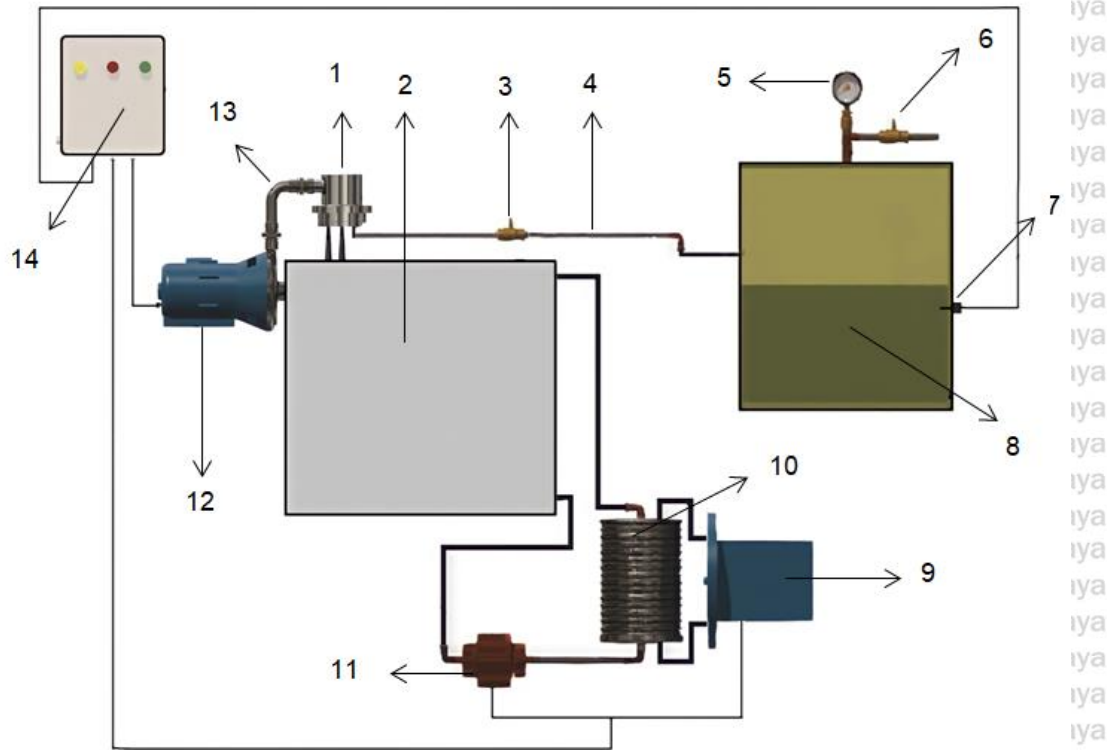
Gambar 7. Diagram alir perakitan prototype pendingin vakum sistim jet air



Gambar 8. alat pendingin vakum sistim jet air

4.3.2. Mekanisme Kerja Prototype Pendingin Vakum Sistim Jet Air

Tujuan dibuatnya prototype pendingin vakum sistim jet air untuk membuat proses pemanasan (pasteurisasi), proses pendinginan dan atau evaporasi suhu rendah dapat dilakukan secara kontinyu dalam satu alat. Perlakuan penelitian pendinginan madu dengan alat pendingin vakum adalah sebagai berikut. Madu mentah dimasukan kedalam tabung sebanyak $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ volume tabung atau 12,5%, 25%, dan 50% Volume/Volume tabung (V/V). Kemudian madu dipasteurisasi sampai suhu 63°C selama 30 menit dengan teknik *double jackets*. Setelah selesai pasteurisasi madu diambil sampel untuk di ukur kadar airnya. Selanjutnya madu langsung dapat didinginkan dengan pendingin vakum, jika kadar air madu > 22% maka madu harus melalui tahap evaporasi suhu rendah dengan alat pendingin vakum hingga kadar air maksimal 22% pada saat proses pendinginan berjalan. Kemudian setelah selesai pemanasan madu dilakukan proses pendinginan vakum. Kompur dibagian bawah tabung dimatikan kemudian air untuk pemanasan *double jackets* di hilangkan sehingga tabung pendingin tidak mendapat panas yang tersisa dari proses pemanasan. Selanjutnya air pada bak pompa didinginkan dengan ditambahkan es hingga suhu air didalam bak air sirkulasi 8°C untuk menghasilkan proses pendinginan vakum. Pompa vakum dijalankan kemudian terjadi penurunan tekanan didalam tabung pendingin dan diikuti dengan penurunan titik didih pada bahan madu sehingga terjadi pendinginan. *Thermokopel* yang dipasang dalam tabung pendingin akan menampilkan pembacaan penurunan suhu dan dicatat melalui display *midi logger gl-200a*. Pendinginan terus dilakukan sampai titik vakum minimum tercapai dan suhu madu ikut turun. Jika kadar air madu > 22% dilakukan proses evaporasi suhu rendah dengan cara menambah waktu pendinginan lebih lama hingga kadar air yang diinginkan tercapai. Pendinginan menggunakan alat pendingin vakum sistim jet air diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan-kerusakan yang terjadi pada pendinginan konvensional. Proses alur kerja sistem pendingin cepat dengan vakum sistim jet air di tampilkan pada gambar 9, pada penelitian ini kondensor dan ac pendingin perannya di gantikan oleh penambahan es batu untuk menimbulkan efek dingin pada air didalam bak sirkulasi. Sedangkan diagram alir mekanisme kerja alat pendingin vakum sistim jet air ditampilkan pada gambar 10.



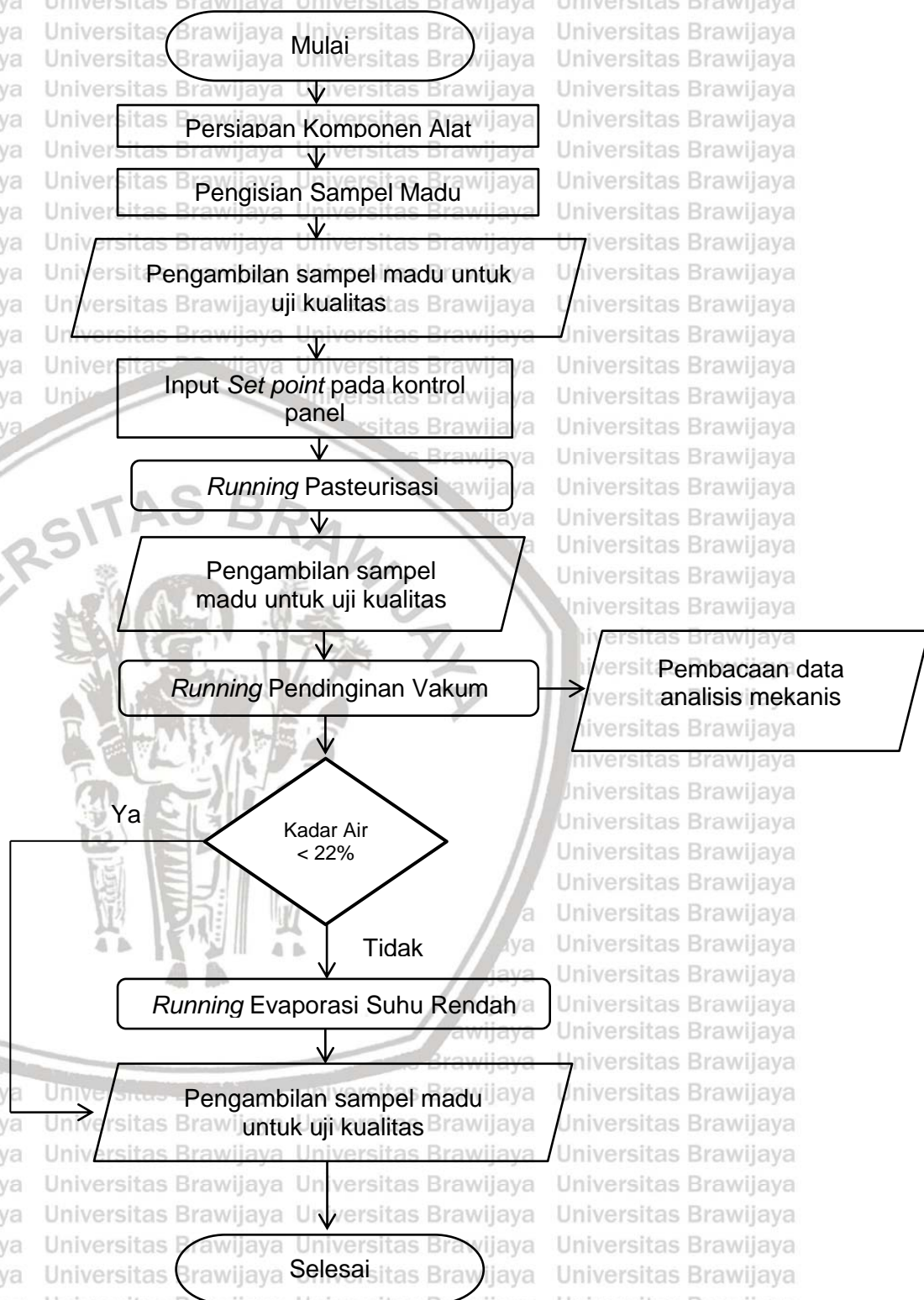
Keterangan :

1. Jet Vakum,
2. Bak air dingin,
3. Katup searah,
4. Selang vakum,

5. Vakum meter,
6. Keran udara,
7. Sensor suhu,
8. Tabung vakum,
9. AC pendingin,

10. Kondensor pendingin ,
11. Pompa air sirkulasi,
12. Pompa jet vakum,
13. Pipa pompa ke jet vakum,
14. Kotak kontrol panel

Gambar 9. Alur kerja sistem pendingin cepat dengan vakum sistim jet air



Gambar 10. Mekanisme kerja alat pendingin vakum sistim jet air

4.3.3 Tahap Preparasi Sampel

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah madu mentah yang diperoleh dari hutan Riau, Indonesia. Pada proses pendinginan vakum dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dengan variasi input 12,5%, 25%, dan 50% V/V dari tabung pendingin yang digunakan. Dalam hal ini volume tabung yang digunakan adalah 1000 ml, sehingga banyak nya sampel yang digunakan adalah 125ml, 250ml, dan 500ml. Sedangkan untuk pendinginan konvensional perlakuan dan jumlah sampel yang digunakan sama dengan pendinginan vakum. Perlakuan variasi input digunakan berdasarkan pengamatan di lapangan langsung bahwa input madu pada saat proses tidak boleh lebih dari $\frac{1}{2}$ volume ruang evaporasi atau 50% V/V karena buih madu akan terangkat naik seiring berkurangnya tekanan dalam ruangan.

Pada tahap pendinginan setiap sampel yang akan didinginkan dipasteurisasi dan dikondisikan pada suhu 63°C dengan kadar air < 22%, selain itu pengukuran kualitas meliputi viskositas, pH, kerapatan massa jenis, derajat brix, enzim diatase, pH dan gula pereduksi juga diamati sebelum proses pendinginan dilakukan. Pada akhir tahap pendinginan, setiap sampel kembali di ukur suhu madu, kadar air, viskositas, pH, kerapatan massa jenis, derajat brix, enzim diatase dan gula pereduksi pada akhir proses pendinginan.

4.3.4 Proses Pendinginan

Pada proses pendinginan dilakukan dengan dua metode pendinginan yaitu pendinginan vakum dan pendinginan konvensional selanjutnya dilakukan pengamatan kajian mekanis dan uji kualitas madu dari hasil kedua pendinginan tersebut. Pengukuran dan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada sub bab berikut ini.

4.3.4.1 Pengamatan Aspek Mekanis

Dalam penelitian ini penulis mengkaji beberapa analisis aspek mekanis alat pendingin vakum sistim jet air diantaranya adalah lama waktu proses pendinginan,

laju penurunan suhu, dan tekanan vakum maksimum terendah sedangkan pada pendinginan konvensional pengamatan aspek mekanis dilakukan pengamatan terhadap lama waktu proses pendinginan.

4.3.4.1.1 Pengukuran lama waktu proses

Lama waktu proses pendinginan merupakan indikator penting dalam tahap pendinginan vakum. Harapannya lama waktu proses dengan teknik pendingin vakum dapat lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional. Pengukuran lama waktu proses pendinginan dilakukan pada saat masing-masing sampel madu dengan suhu 63°C mengalami penurunan suhu seiring dengan pompa vakum dijalankan hingga tekanan vakum dalam keadaan maksimum terendah. Pada saat tekanan vakum dalam keadaan maksimum terendah maka suhu madu didalam tabung akan turun secara konstan menuju suhu akhiri pendinginan. Pencatatan waktu dilakukan setiap terjadi perubahan suhu menggunakan data *midi logger gl-200a*. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara penurunan suhu terhadap lama waktu. Sedangkan pengamatan lama waktu proses pada proses pendinginan konvensional dilakukan dengan mencatat setiap perubahan suhu terhadap waktu.

4.3.4.1.2. Pengukuran laju penurunan suhu

Pengukuran laju perubahan suhu dilakukan pada saat proses pendinginan berjalan. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan pada masing-masing perlakuan kemudian data hasil pengamatan di rata-rata untuk memperoleh data penelitian utama. Sensor termokopel diletakan di bagian titik tengah (gambar 11) sampel madu yang berada didalam tabung pendingin kemudian dihubungkan dengan kontrol panel. Pengamatan penurunan suhu dicatat setiap perubahan menggunakan data *logger*. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara perubahan penurunan suhu terhadap waktu. Untuk mengetahui laju pendinginan, pada masing-masing sampel di hitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$LP = LN \frac{T\theta - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} \quad (12)$$

Dimana:

LP : Laju Pendinginan (K /detik)

T_0 : Suhu sesaat ($^{\circ}\text{C}$)

T_s : Suhu kesimbangan ($^{\circ}\text{C}$)

T_o : Suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

Sensor suhu



Gambar 11. Letak sensor termokopel

Dari hasil perhitungan rumus tersebut selanjutnya nilai hasil perhitungan dibuat grafik hubungan LP terhadap waktu. Untuk menentukan besar kecilnya laju pendinginan dapat ditentukan dengan metode regresi linear yang dilihat dari nilai konstanta (K) persamaan. Nilai tersebut merupakan laju pendinginan pada masing-masing sampel yang diuji. Menurut Lastriyanto (2011) nilai konstanta (K) pada persamaan regresi linear dapat dijadikan indikator kinerja dari mesin yang menggunakan prinsip penguapan, seperti: evaporator, penggoreng, dan pengering.

4.3.4.1.3 Tekanan vakum maksimum terendah

Nilai tekanan maksimum terendah berpengaruh terhadap suhu bahan akhir pada proses pendinginan. Semakin rendah tekanan vakum ($< 1 \text{ atm}$) maka semakin rendah titik didih air dalam ruangan vakum. Pemberian suhu dingin sebesar 8°C

pada bak air bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pompa vakum jet air untuk memvakum tabung pendinginan. Pengujian tekanan vakum maksimum terendah dilakukan dengan 3 kali ulangan pada masing-masing perlakuan. Data yang didapat selanjutnya di rata-rata dan kemudian dibuat grafik laju perubahanan tekanan terhadap lama waktu proses. Tekanan maksimum terendah di peroleh pada saat keadaan tekanan konstan dan suhu telah turun mencapai tahap akhir proses pendinginan yaitu 35°C.

4.3.4.2 Pengujian kualitas madu

Pengujian kualitas madu dilakukan untuk mengetahui perubahan kandungan madu sebelum dan setelah proses pendinginan. Pengujian kualitas dilakukan terhadap masing-masing sampel yang di proses dengan pendingin vakum dan pendingin konvensional. Pengujian sampel dilakukan pada saat madu sebelum diproses dan setelah madu dilakukan proses pendinginan. Adapun pengukuran kualitas madu yang dilakukan adalah kualitas fisik madu seperti kadar air, viskositas, kerapatan massa jenis sedangkan kualitas mutu madu seperti aktivitas enzim diastase, gula pereduksi, brix, pH.

4.3.4.2.1 Uji Kadar air

Pengujian kadar air dilakukan pada madu setelah proses pemanasan dan setelah proses pendinginan menggunakan pendingin vakum ataupun secara konvensional. Pengukuran kadar air dilakukan pada masing-masing setiap sampel di dua kondisi tersebut. Pengukuran berfungsi untuk membandingkan kadar air sebelum proses dan setelah proses. Pengukuran kadar air pada madu dilakukan dengan menggunakan alat *Moisture Analyzer* Shimadzu MOC 120H dengan output data berupa persen. Standard pengukuran yang digunakan dalam analisa kadar air pada madu adalah SNI-2018.

4.3.4.2.2. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan dalam fluida. Pengukuran nilai viskositas mengacu pada penelitian Apriani, D. (2013). Viskositas diukur menggunakan viskometer NDJ-1S untuk mengetahui perubahan kekentalan madu sebelum proses pendinginan dan setelah proses pendinginan pada setiap sampel pada pendingin vakum dan pendingin konvensional. Pemilihan spindel nomor 2 dengan kecepatan 12 rpm digunakan untuk mengukur kekentalan madu, hal tersebut dikarenakan nilai poise madu masuk dalam range nilai tersebut.

4.3.4.2.3 Kerapatan Massa Jenis

Pengujian massa jenis atau kerapatan jenis pada madu dilakukan sebelum proses proses dan setelah proses pendinginan menggunakan vacuum cooling ataupun secara konvensional. Pengukuran massa jenis dilakukan pada masing-masing sampel di dua kondisi tersebut. Hal tersebut berfungsi untuk membandingkan massa jenis sebelum proses dan setelah proses. Pengukuran massa jenis dilakukan dengan menggunakan alat piknometer 50ml. Pengukuran kerapatan massa jenis mengacu pada penelitian Anwariyah (2018).

4.3.4.2.4 Derajat Brix (°Brix)

Derajat Brix (system °Bx) adalah kadar gula dari larutan berair. Satu derajat Brix adalah 1 gram sukrosa dalam 100 gram larutan dan mewakili kekuatan solusi sebagai persentase berat (% b/b). Pengukuran derajat brix mengacu pada penelitian Parmitasari & Hidayanto (2013). Derajat brix diukur menggunakan brix refraktometer dengan skala 60-92 untuk di ketahui perbedaan brix sebelum dan sesudah proses pendinginan vakum ataupun pendingin konvensional.

4.3.4.2.5 Enzim Diastase

Uji aktivitas enzim diastase dilakukan dengan menghitung DN (*Diastase Number*) mengacu dalam penelitian Ariandi & Khaerati (2018). Pengujian enzim diastase dilakukan dengan menggunakan metode *schade*. DN didefinisikan sebagai total gram pati yang terhidrolisis dalam 1 jam pada 40°C per 100 gram madu. Prinsip dari uji aktivitas enzim diastase adalah pengukuran absorban dari campuran sampel madu dan larutan pati yang telah dipanaskan pada suhu 40°C secara berkala dengan interval waktu 5 menit serta telah direaksikan dengan reagen iodine. Data absorban akan diolah menjadi persamaan regresi linear sehingga dapat mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai absorban sebesar 0,235. Data waktu yang telah diperoleh dari regresi linear dapat diolah menjadi DN (*Diastase Number*) dengan memasukkannya ke dalam persamaan (12) diastase seperti dibawah ini.

$$DN = \frac{300}{tx} \dots\dots\dots (13)$$

a. Pembuatan Larutan Induk Iodium

Pembuatan larutan induk iodium dilakukan dengan melarutkan 1,1 gr iodine dan 2,2 gr pottasium iodida di 4 ml aquadest lalu encerkan larutan tersebut hingga 50 ml. Larutan induk iodium ini dapat disimpan selama satu tahun di dalam botol yang telah dilapisi alumunium foil untuk menghindari terjadinya oksidasi akibat paparan sinar matahari.

b. Pembuatan Larutan Induk Encer

Larutan iodium encer dibuat dari 2 gr pottasium iodida dan 0,5 ml larutan induk iodium lalu diencerkan hingga 100 ml dengan menggunakan larutan pengencer berupa aquades. Larutan iodium encer ini harus di buat di hari penggunaan karena larutan ini sangat rentan pada paparan sinar cahaya matahari dan udara (mudah teroksidasi) sehingga pembuatan larutan dilakukan di hari yang sama dengan pengujian.

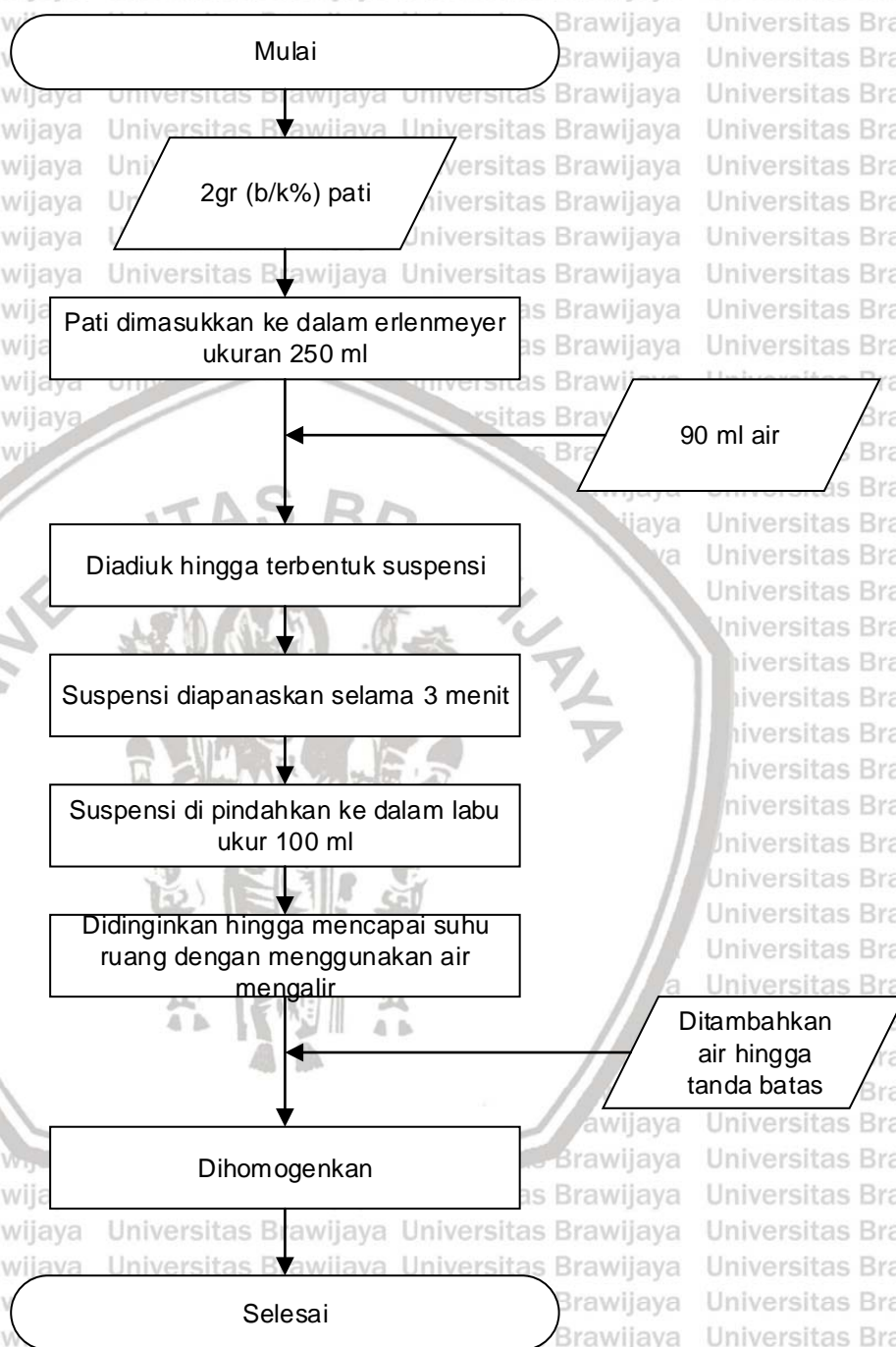
c. Penentuan %b/k Pati

Presentase Berat kering dari pati ditentukan dengan menghitung kadar air dari pati yang digunakan. Adapun pati yang digunakan merupakan pati standard atau biasa disebut amylum soluble. Perhitungan kadar air pati dilakukan menggunakan alat moisture content. Setelah dilakukan perhitungan kadar air dengan 3 pengulangan, rata rata dari hasil kadar air dimasukkan dalam rumus berikut.

$$\text{Berat timbang basah} = \frac{\text{Berat Kering}}{1 - \%KA} \dots \dots \dots (14)$$

d. Persiapan Larutan Pati.

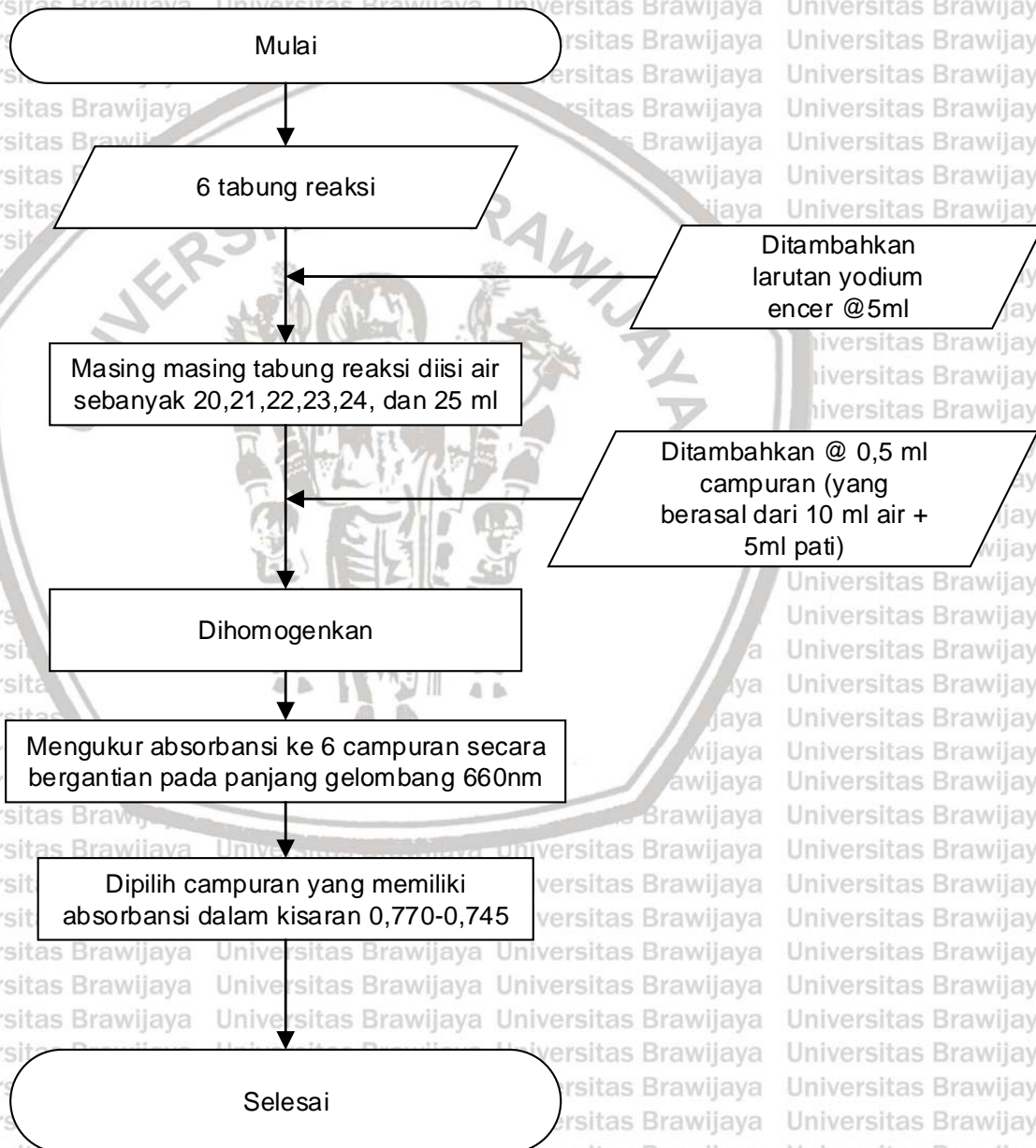
Proses persiapan larutan pati dapat dilihat pada gambar 12. Larutan pati ini hanya bertahan selama 24 jam, karena larutan pati akan mudah berjamur sehingga pembuatan larutan pati dilakukan dihari pengujian untuk meminimalisir rusaknya larutan pati. Proses pengadukan pada saat pemanasan larutan pati harus lebih diperhatikan agar larutan pati dapat homogen dan tidak terjadi penggumpalan seperti jelly.



Gambar 12. Diagram Alir Persiapan Larutan Pati

e. Kalibrasi Larutan Pati

Proses kalibrasi larutan pati dapat dilihat pada gambar 13. Fungsi dari dilakukannya kalibrasi larutan pati adalah untuk mengetahui apakah pati yang digunakan ini cocok untuk uji aktivitas enzim diastase serta mengetahui jumlah volume aquades yang nantinya ditambahkan pada saat pengukuran absorbansi.



Gambar 13. Diagram Alir Kalibrasi Larutan Pati

f. Pembuatan Larutan Buffer Asetat pH 5,3

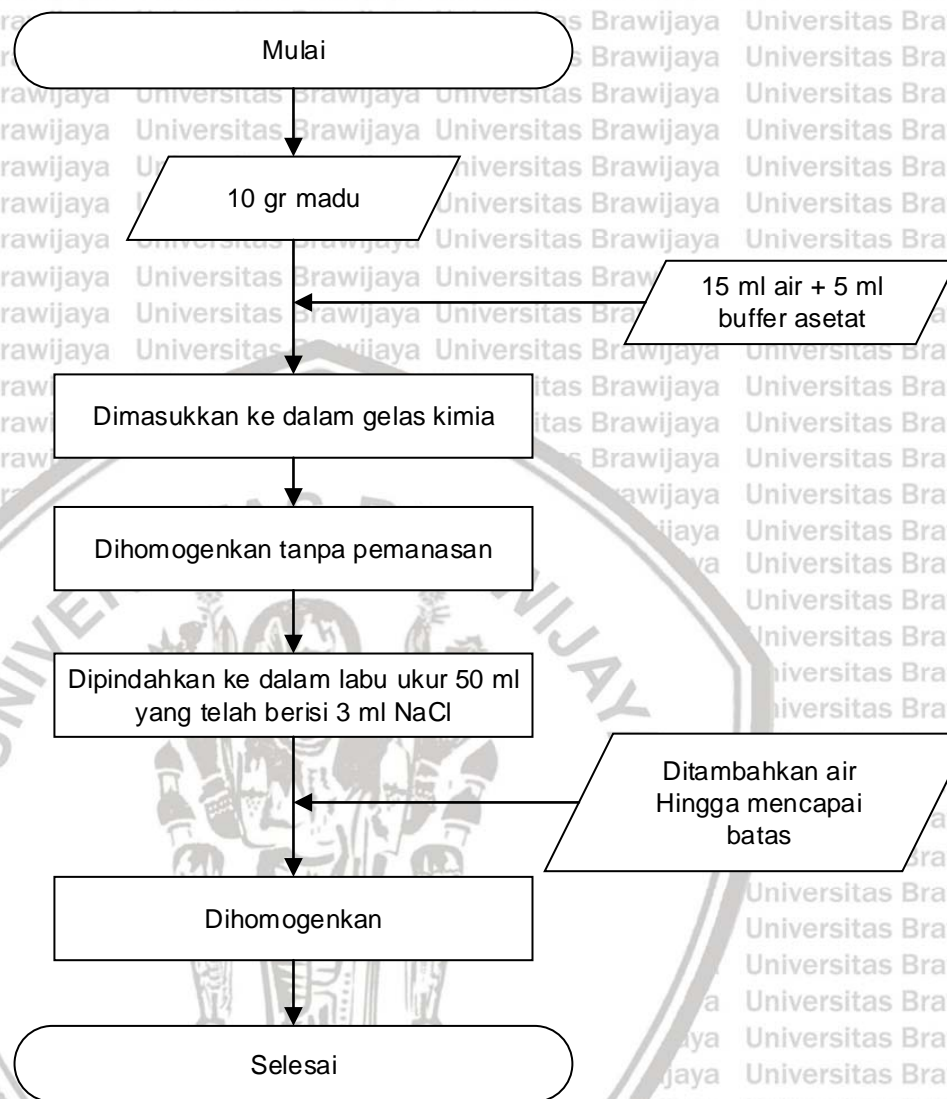
Larutan buffer atau biasa disebut dapar asetat dibuat dengan melarutkan 4,35 gram sodium asetat dalam 25 aquadest lalu ditambahkan 0,5 mL asam asetat. Setelah dihomogenkan diukur pH dari campuran larutan tersebut. Jika pH kurang dari 5,3 maka ditambahkan sodium asetat, jika pH lebih dari 5,3 maka ditambahkan asam asetat.

g. Pembuatan Larutan NaCl 0,5 M

Larutan natrium klorida atau biasa disebut NaCl dibuat dengan melarutkan 0,73 gram natrium klorida dalam air yang mendidih sebanyak 25 ml. Larutan ini rentan terkontaminasi oleh jamur sehingga diharuskan untuk sering memperbaruinya.

h. Preparasi Sampel Madu untuk Uji Enzim Diastase

Proses preparasi sampel madu dilakukan dengan menimbang madu kemudian melakukan buffer terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran NaCl supaya dapat meminimalisir kerusakan madu ketika larutan madu bereaksi dengan NaCl. Untuk proses keseluruhan dari preparasi sampel madu dapat dilihat pada Gambar 14.

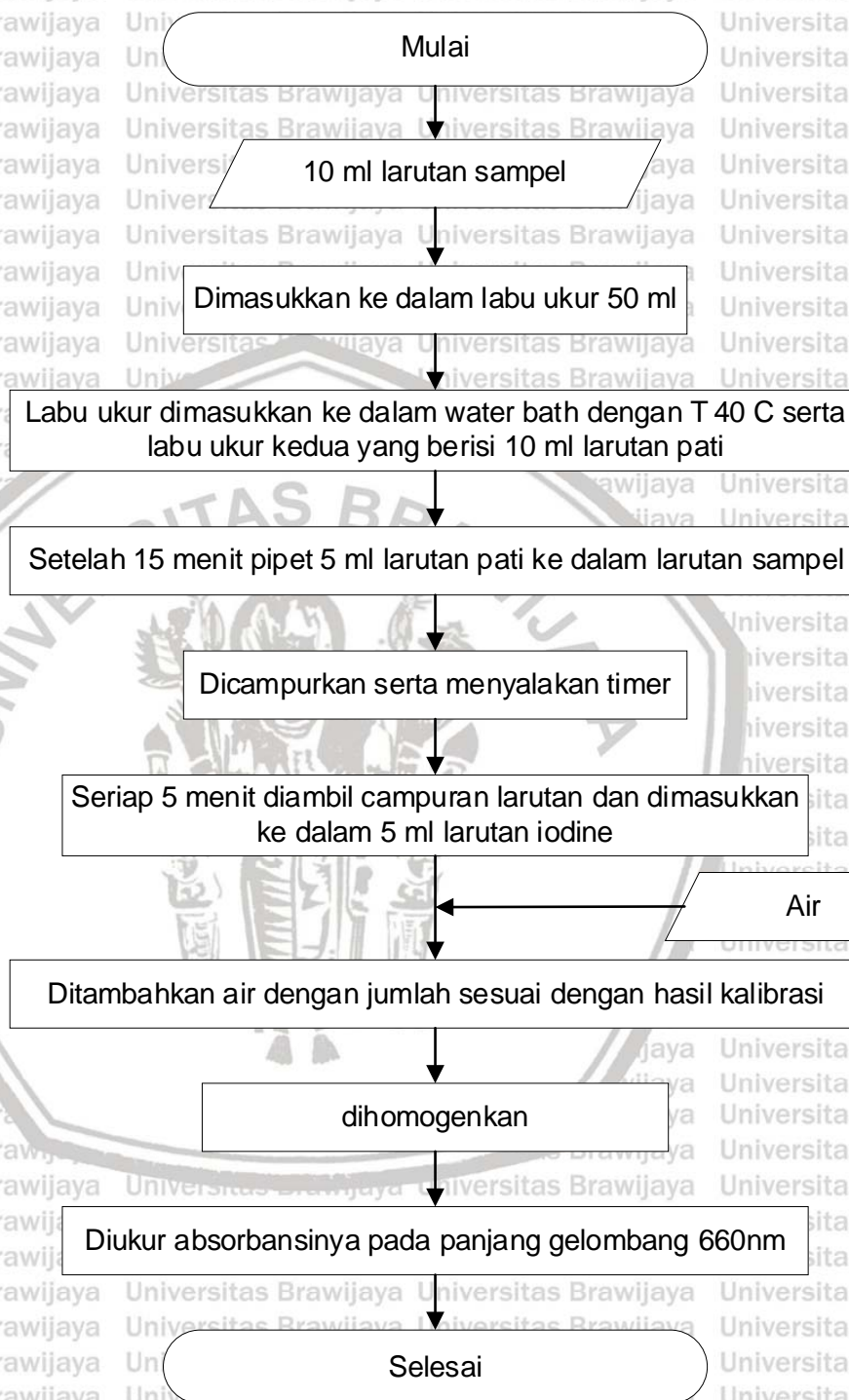


Gambar 14. Diagram Alir Preparasi Sampel Madu

i. Pengukuran Absorbansi Sampel

Proses pengukuran absorbansi sampel madu dapat dilihat pada gambar 15.

Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan alat spektrometer visible tipe 721 dengan panjang gelombang sebesar 660 nm.



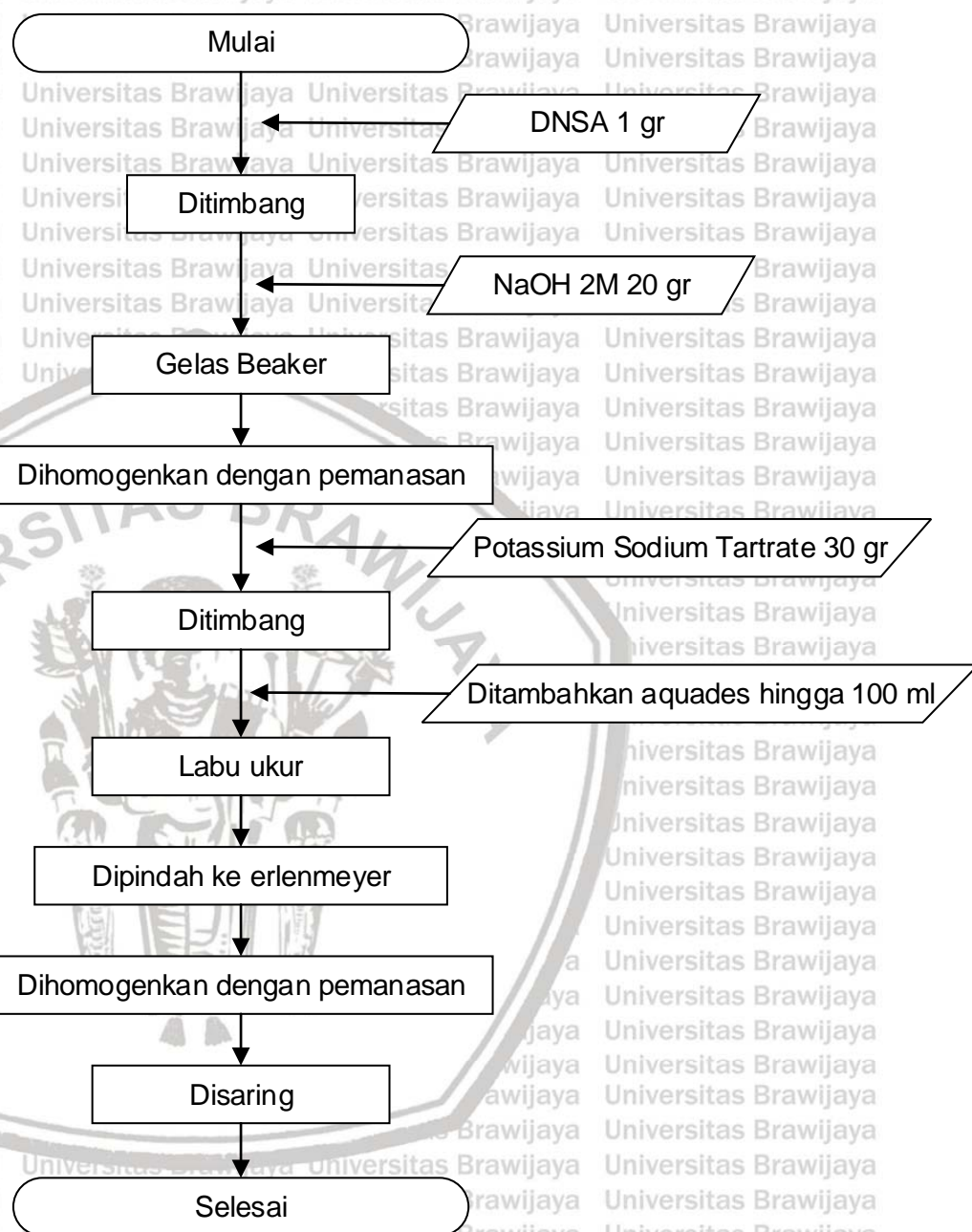
Gambar 15. Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel

4.3.4.2.6 Uji Gula Pereduksi

Gula pereduksi termasuk dalam golongan gula atau karbohidrat yang mampu mereduksi senyawa-senyawa penerima electron lainnya seperti glukosa dan fruktosa. Tahap pengujian gula pereduksi adalah sebagai berikut. Kadar gula pereduksi dapat dihitung menggunakan kurva standar glukosa yang telah dibuat. Kurva standar didapatkan dari hasil absorbansi glukosa standar dengan konsentrasi yang berbeda, yang mana data absorbansi glukosa standar dimasukkan ke dalam aplikasi excel dan diperoleh kurva standar beserta rumusnya. Dimasukkan absorbansi sampel ke dalam huruf y untuk mencari nilai x. Kemudian nilai x merupakan konsentrasi glukosa dalam madu, namun harus dibagi nilainya dengan jumlah berat madu yang digunakan untuk sampel. Menurut SNI, kandungan gula pereduksi minimal pada madu yaitu 65% b/b.

a. Pembuatan Reagen

Pertama disiapkan alat dan bahan selanjutnya ditimbang DNSA (3,5 dinitrosalicylic acid) sebanyak 1 gr dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian ditambahkan NaOH 2M sebanyak 20 mL dan dihomogenkan menggunakan pemanasan waterbath hingga tercampur. Larutan didinginkan dan ditambahkan Potassium sodium tartrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 30 gr dan ditambahkan aquades hingga tanda batas kemudian dihomogenkan dengan mengocok sebanyak kurang lebih 10 kali. Dipindah larutan ke dalam gelas erlenmeyer dan dipanaskan dalam waterbath kemudian diaduk hingga homogen. Larutan didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring. Pembuatan reagen ditampilkan dalam gambar 16.



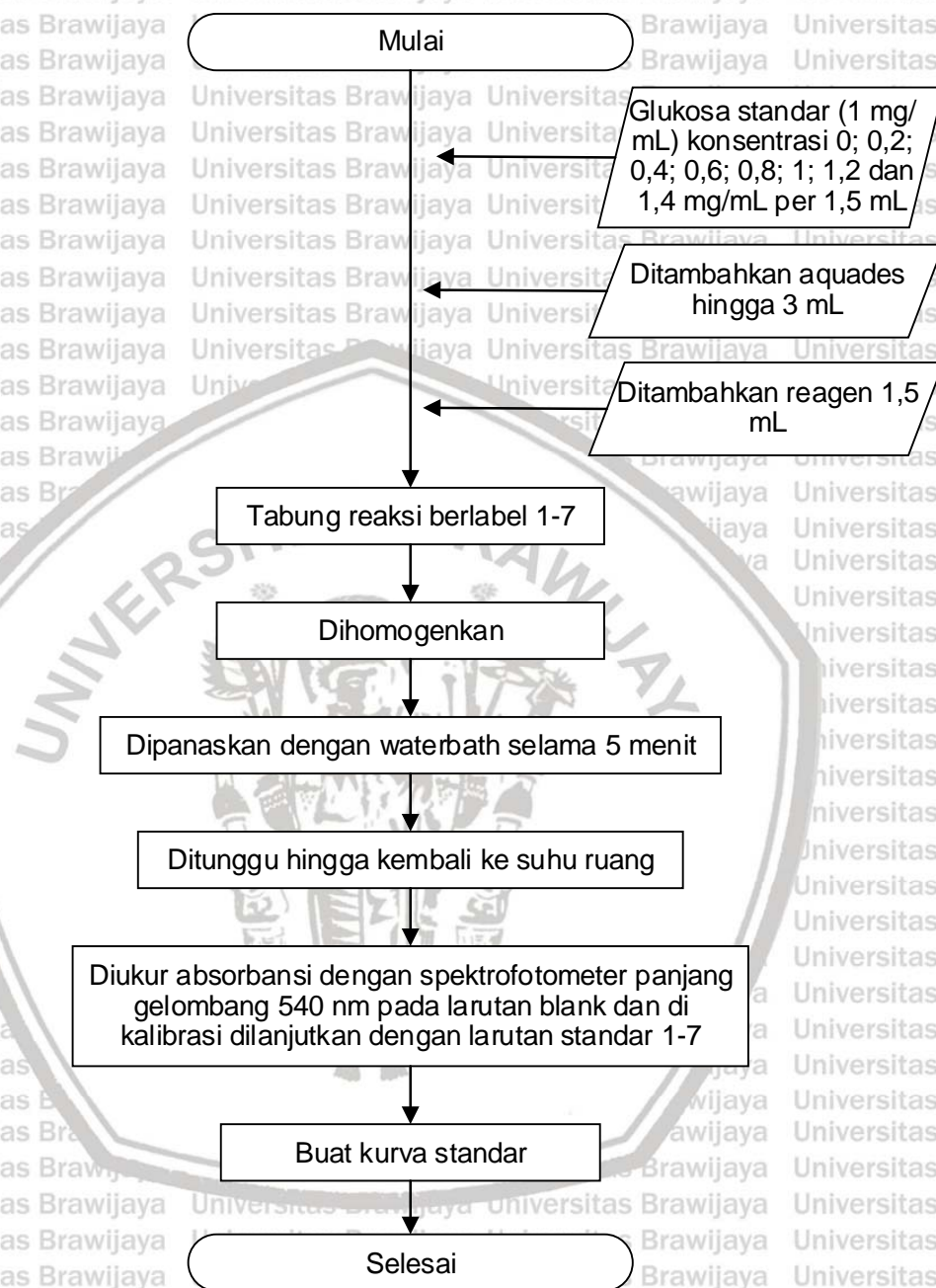
Gambar 16. Diagram Alir Pembuatan Reagen

b. Pembuatan Kurva Standar Glukosa

Pertama siapkan alat dan bahan. Kemudian timbang glukosa standar sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4 mg/mL dan ditambahkan air hingga 1,5 mL.

Glukosa standar dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Ditambahkan aquades sebanyak 1,5 mL dan ditambahkan reagen sebanyak 1,5 mL. Dihomogenkan dan dipanaskan larutan glukosa standar ke dalam waterbath selama 5 menit. Larutan didinginkan hingga kembali pada suhu ruang dan dilakukan pengujian menggunakan Spektrofotometer Visibel dengan panjang gelombang 540 nm. Lakukan pengujian dengan larutan blank terlebih dahulu kemudian larutan glukosa 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4 mg/mL. Catat hasil dan buat kurva standar. Diagram alir pembuatan kurva standar glukosa ditampilkan pada gambar 17.



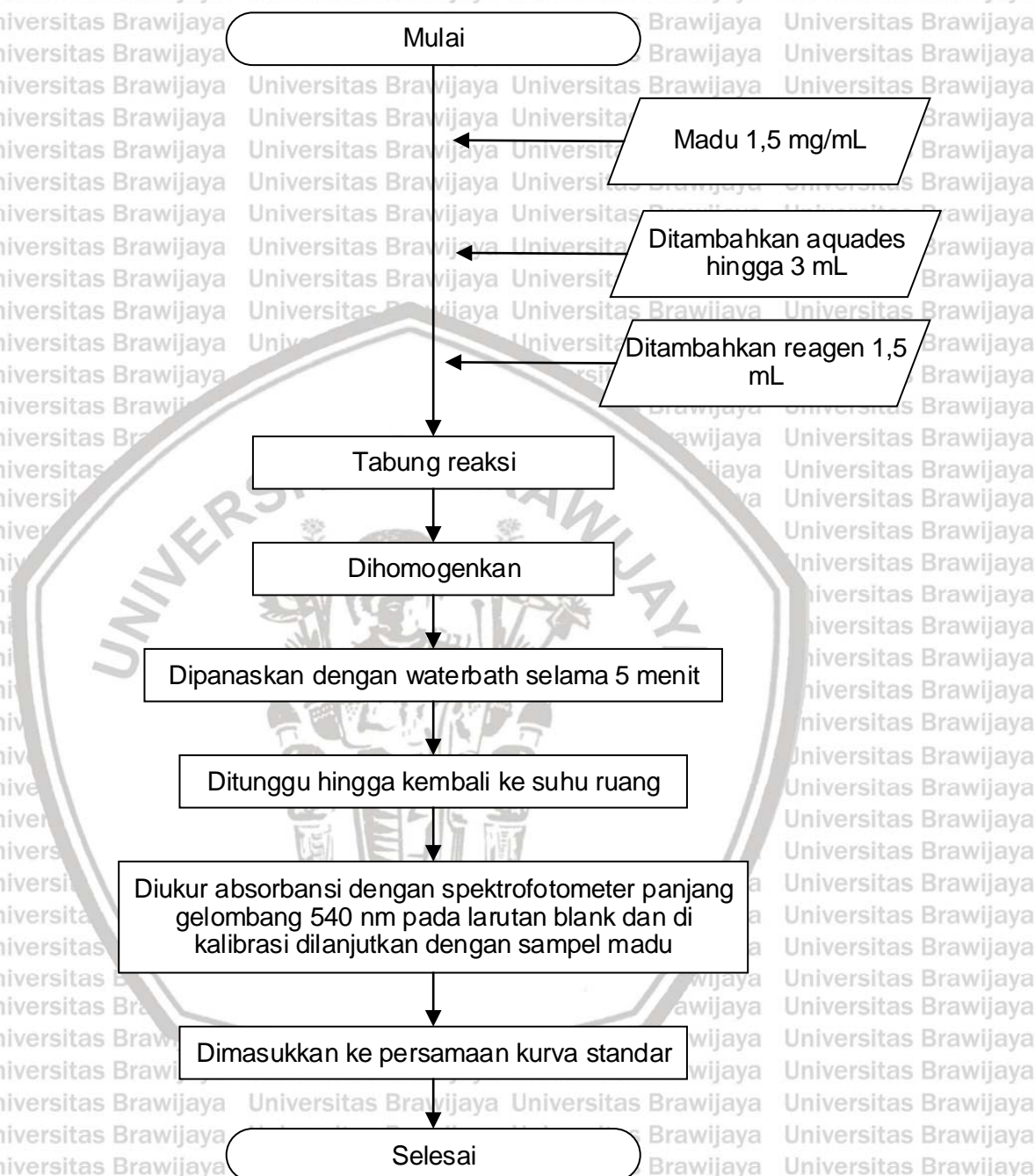


Gambar 17. Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Glukosa

C. Determinasi Gula Pereduksi

Tahapan pembuatan reagen untuk uji gula pereduksi berdasarkan konsep penelitian yang dilakukan Miller (1959). Pertama tama disiapkan alat dan bahan. Disiapkan madu dengan konsentrasi 1,5 mg/mL. Kemudian sampel madu dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Ditambahkan aquades sebanyak 1,5 mL dan ditambahkan reagen sebanyak 1,5 mL. Dihomogenkan dan dipanaskan larutan sampel madu ke dalam waterbath selama 5 menit. Larutan didinginkan hingga kembali pada suhu ruang dan dilakukan pengujian menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 540 nm. Diagram alir determinasi gula pereduksi ditampilkan pada gambar 18.

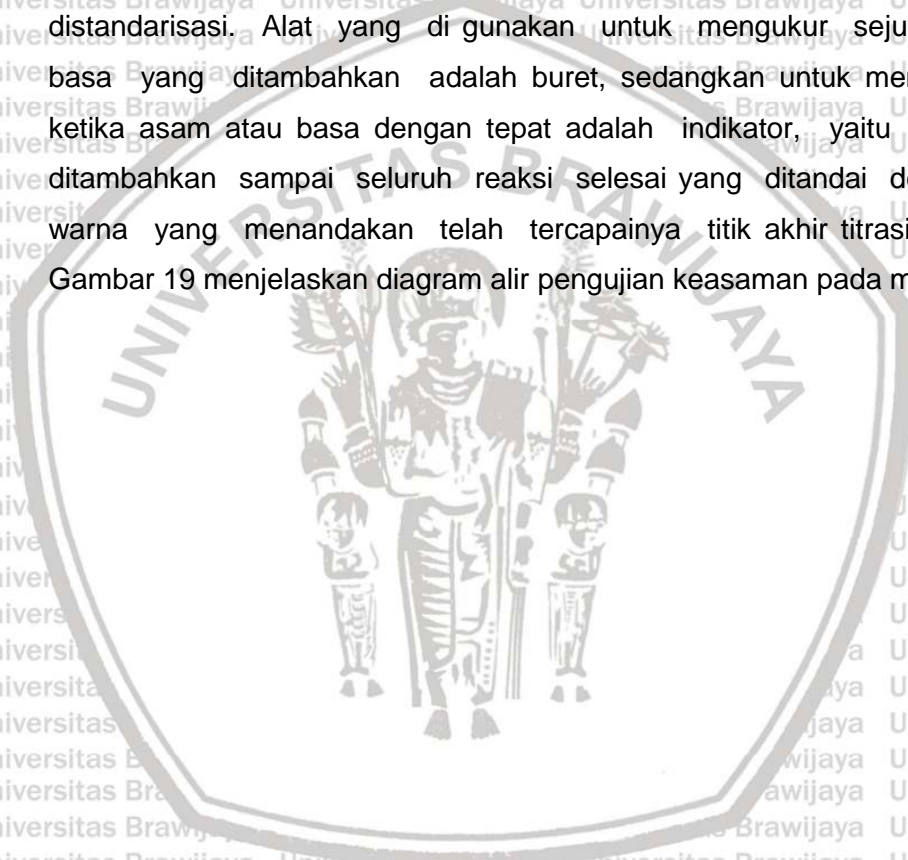


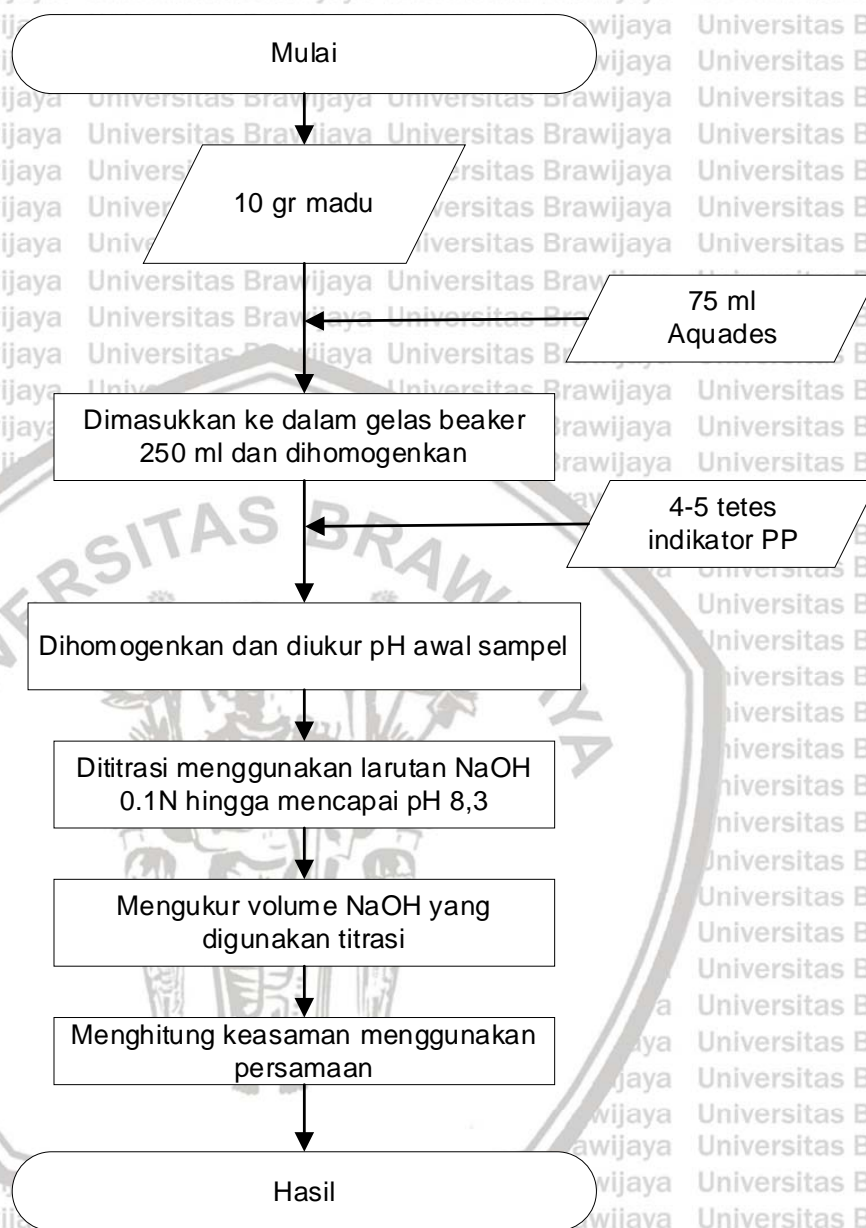


Gambar 18. Diagram Alir Determinasi Gula Pereduksi

4.3.4.2.7 Derajat Keasaman (pH).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengacu dalam penelitian Wulandari., (2017) dan Rogate (2020). Metode yang digunakan adalah titrasi Alkalimetri, yaitu suatu analisa yang didasarkan pada pengukuran seksama jumlah volume basa yang digunakan atau penetapan kadar zat-zat yang bersifat asam dengan menggunakan larutan basa yang sesuai dan telah distandarisasi. Alat yang di gunakan untuk mengukur sejumlah asam atau basa yang ditambahkan adalah buret, sedangkan untuk memberikan petunjuk ketika asam atau basa dengan tepat adalah indikator, yaitu suatu zat yang ditambahkan sampai seluruh reaksi selesai yang ditandai dengan perubahan warna yang menandakan telah tercapainya titik akhir titrasi (Bresnick, 2002). Gambar 19 menjelaskan diagram alir pengujian keasaman pada madu.





Gambar 19. Diagram alir uji keasaman

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Proses pendingin madu

5.1.1. Pendingin Vakum (*Vacuum Cooling*)

Pendingin vakum merupakan metode pendinginan secara cepat. Perpindahan panas terjadi karena terdapat perbedaan tekanan pada permukaan bahan dengan bagian dalam bahan. Panas laten di peroleh dari panas yang dilepaskan bahan menuju lingkungan sekitar yang memiliki tekanan vakum ($< 1\text{atm}$) sehingga terjadi proses pendinginan terhadap bahan tersebut. Alat pendingin vakum sistim jet air merupakan alat pendingin vakum dengan penggunaan pompa air sebagai alat penggerak jet vakum untuk mengurangi tekanan didalam ruang tabung pendingin. Media air yang digunakan harus memiliki suhu dibawah 8°C untuk memperoleh kesetimbangan suhu air dengan suhu didalam ruangan tabung pendingin. Gambar 9 merupakan sekema alur pendinginan vakum dengan alat pendingin vakum sistim jet air.

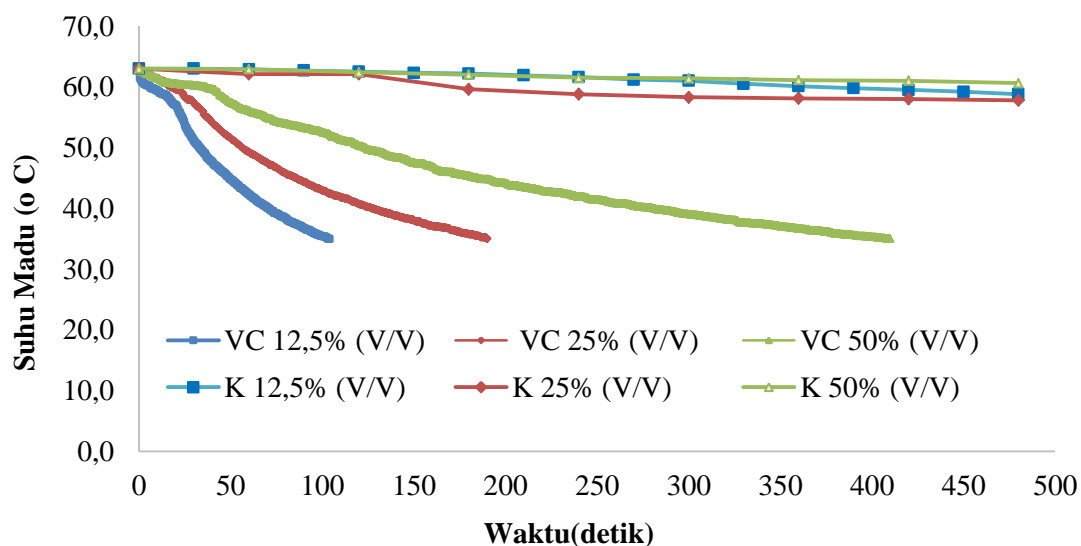
5.1.2. Pendingin Konvensional

Proses pendinginan konvensional merupakan proses pendinginan atau perpindahan panas yang terjadi karena ada perbedaan suhu antara dua lingkungan. Proses yang terjadi dalam perpindahan panas tersebut ialah cara energi di dalam panas dapat berpindah tempat dan laju perpindahannya dalam kondisi tertentu. Pada perlakuanya, madu yang telah dilakukan proses pasteurisasi kemudian diangkat dan selanjutnya ditaruh diruang terbuka bersama dengan botol yang digunakan untuk pasteurisasi. Proses pendinginan madu dilakukan secara terbuka udara tanpa menutup botol wadah madu yang digunakan. Proses perlakuan tersebut dilakukan berdasarkan pengamatan dilapang bahwa proses pendinginan secara konvensional dilakukan secara terbuka udara. Panas yang terdapat dalam madu akan di lepas menuju lingkungan sekitar yang memiliki suhu lebih rendah dari madu. Selanjutnya madu diamati lama waktu proses pendinginanya. Hasil yang diperoleh,

waktu yang terjadi pada proses pendinginan konvensional relative sangat lama dibandingkan pendingin vakum.

5.2. Lama Waktu Proses Pendinginan

Pengukuran lama waktu proses pendinginan vakum dilakukan pada saat masing-masing sampel madu dengan suhu 63°C mengalami penurunan suhu menjadi 35°C seiring dengan pompa vakum dijalankan hingga tekanan vakum dalam keadaan maksimum terendah. Sedangkan pada pendinginan konvensional juga dilakukan pengukuran lama waktu proses pendinginan untuk masing-masing sampel pada saat madu bersuhu 63°C turun menjadi 35°C dengan madu dibiarkan terbuka udara sehingga panas dari madu dilepaskan menuju lingkungan sekitar. Pemilihan penurunan suhu dari 63°C sampai 35°C dikarenakan suhu lingkungan disekitar penelitian pada saat itu fluktuatif yaitu antara 30°C - 33°C . Hasil pengamatan lama waktu proses pendinginan ditampilkan pada grafik gambar 20.



Gambar 20. Perubahan Suhu Selama Pendinginan Vacuum Cooling (VC) dan Konvensional (K)



Gambar 21. Proses pendinginan madu: (a). *vacuum cooling* 12,5%, (b). *vacuum cooling* 25%, (c). *vacuum cooling* 50%, (d). Konvensional 12,5%, (e). konvensional 25%, (f). Konvensional 50%.

Grafik pada gambar 20 menunjukkan bahwa proses pendingin vakum lebih cepat dibandingkan pendingin konvensional. kecepatan pendinginan dipengaruhi karena adanya penguapan air secara langsung akibat tekanan di lingkungan sekitarnya berubah, penurunan tekanan tersebut menyebabkan terjadinya penurunan suhu yang relative sangat cepat (Ozturk *et al.*, 2011). Dalam skala industri pengolahan madu, pendinginan cepat seperti ini sangat di butuhkan guna untuk mempersingkat proses pendinginan. Kecepatan pendingin vakum sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Shewfelt dan Phillips (1996) bahwa pendinginan sangat cepat untuk mendinginkan produk buah segar, sayuran dan bunga potong. Dalam penelitian lain Zhiwei *et al.*, (2019) dalam artikelnya melakukan perbandingan proses pendinginan konvensional dengan pendingin

vakum untuk mendinginkan produk olahan daging dengan hasil perbandingan proses pendingin vakum relatif lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional. Sun & Wang (2001) menyatakan kecepatan pendingin vakum dapat mempersingkat proses pendinginan dalam skala industri.

Lama waktu proses pendinginan pada masing-masing perlakuan dalam penelitian ini ditampilkan dalam tabel 3.

Table 3. Lama proses pada pendinginan madu

| No | Sampel % (V/V) | <i>vacuum cooling</i> | | Konvensional | |
|----|-------------------|-----------------------|-------|--------------|-------|
| | | Detik | menit | detik | Menit |
| 1 | 12,5 | 104 | 1,73 | 6.870 | 114,5 |
| 2 | 25 | 190 | 3,16 | 7.140 | 119 |
| 3 | 50 | 410 | 6,83 | 17.040 | 284 |

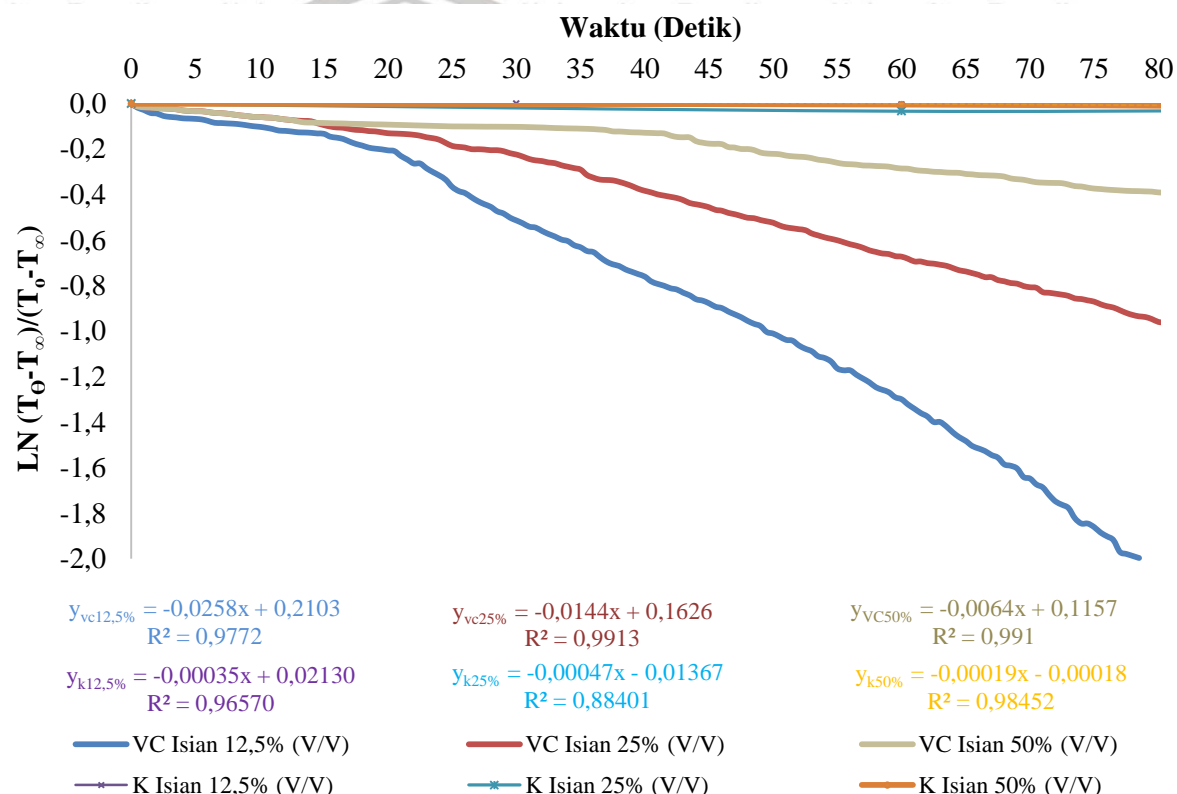
Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui lama proses pendinginan pada masing-masing sampel menunjukkan lama waktu yang berbeda. Pertama sampel dengan isian 12,5% V/V lama waktu proses pendinginan pada pendingin vakum selama 104 detik atau 1,73 menit waktu tersebut 66,2 kali lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional dengan lama waktu pendinginan 6.870 detik atau 114,5 menit. Kedua pada sampel dengan isian 25% V/V lama waktu proses pendinginan pada pendingin vakum selama 190 detik atau 3,16 menit waktu tersebut 38 kali lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional dengan lama waktu pendinginan 7.140 detik atau 119 menit. Ketiga sampel dengan isian 50% V/V lama waktu proses pendinginan pada pendingin vakum selama 410 detik atau 6,83 menit waktu tersebut 41 kali lebih cepat dibandingkan pendinginan konvensional dengan lama waktu pendinginan 17.040 detik atau 284 menit. Hasil dari pengamatan tersebut sesuai dengan pernyataan Sun & Wang (2000) yang dirangkum dalam Zhiwei Zhu, *et al* (2019) bahwa waktu pendinginan produk dengan pendingin vakum relative sangat singkat dan lebih cepat.

5.3. Laju Penurunan Suhu

Laju suhu pendingin vakum (*vacuum cooling*) dan pendingin konvensional (kontrol) diamati dengan menggunakan alat *midi data logger GL-200a* untuk

mencatat perubahan suhu setiap pada masing-masing perlakuan. Perubahan suhu pada pendingin vakum direkam setiap 500ms sedangkan pada pendingin konvensional di rekam setiap 60 detik, hal tersebut karena laju penurunan suhu pada pendinginan konvensional sangat lama. Untuk mengetahui laju pendinginan, pada masing-masing sampel di hitung dengan persamaan 12.

Dari persamaan 12 diperoleh hasil perhitungan dan dibuat grafik. Grafik pada gambar 25 merupakan hasil perhitungan laju pendinginan.



Gambar 22. Laju pendinginan *vacuum cooling* dan pendingin konvensional pada berbagai kapasitas Isian.

Berdasarkan grafik gambar 22, untuk menentukan besar kecilnya laju pendinginan dapat dilihat dari nilai konstanta (K) persamaan (Lastriyanto., 2011). Nilai konstanta tersebut merupakan laju pendinginan pada masing-masing sampel yang diuji. Dalam penelitian Lastriyanto (2011) persamaan nilai konstanta digunakan untuk menentukan laju penguapan pada penggorengan buah nanas. Nilai konstanta dari hasil penelitian pendinginan madu ditunjukkan dalam tabel 4.

Table 4. Nilai Konstanta pada pendinginan madu.

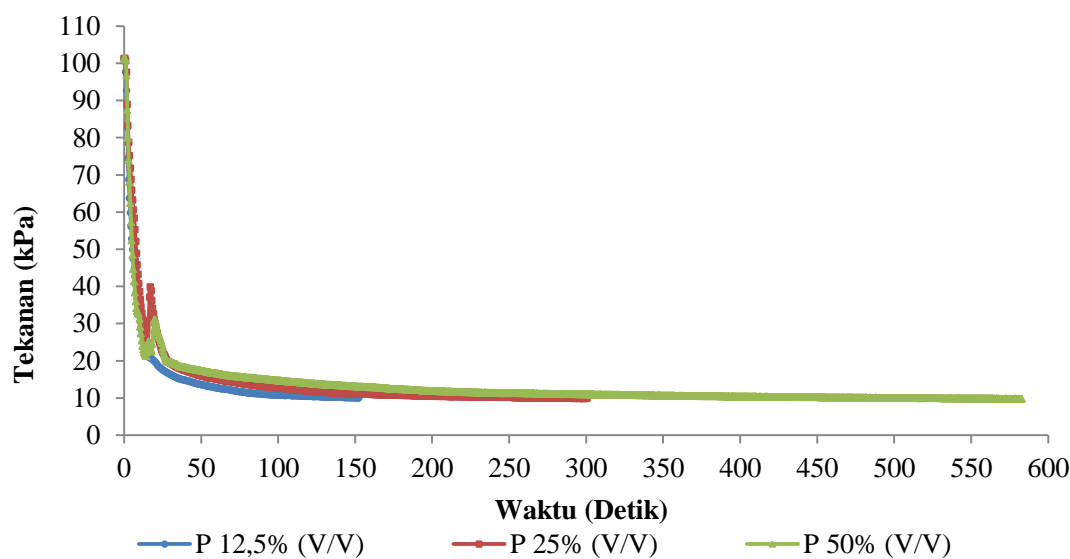
| No | Sampel % (V/V) | Laju Pendinginan (K/detik) | | Laju Pendinginan (K/menit) | |
|----|-------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| | | <i>vacuum cooling</i> | Konvensional | <i>vacuum cooling</i> | Konvensional |
| 1 | 12,5 | 0,025 | 0,0004 | 1,5 | 0,024 |
| 2 | 25 | 0,012 | 0,0003 | 0,72 | 0,018 |
| 3 | 50 | 0,004 | 0,0002 | 0,24 | 0,012 |

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui laju pendinginan pada masing-masing sampel menunjukkan nilai yang berbeda berdasarkan nilai konstanta pada setiap perlakuan antara pendingin vakum dan pendingin konvensional. Pertama sampel dengan isian 12,5% V/V laju pendinginan pada pendingin vakum adalah 0,025 /detik atau 1,5 /menit sedangkan pada pendinginan konvensional adalah 0,0004 /detik atau 0,024 /menit. Keduaa pada sampel dengan isian 25% V/V laju pendinginan pada pendingin vakum adalah 0,012 /detik atau 0,72 /menit sedangkan pada pendinginan konvensional adalah 0,0003 /detik atau 0,018 /menit. Ketiga sampel dengan isian 50% V/V laju pendinginan pada pendingin vakum adalah 0,004 /detik atau 0,24 /menit sedangkan pada pendinginan konvensional adalah 0,0002 /detik atau 0,012 /menit. Nilai perbandingan tersebut menunjukkan bahwa laju pendinginan pada pendingin vakum lebih cepat dibandingkan dengan laju pendinginan pada pendingin konvensional.

5.4. Tekanan Vakum Maksimum Terendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tekanan maksimum terendah berpengaruh terhadap suhu bahan akhir pada proses pendinginan. Berdasarkan penelitian pendahuluan bahwa pemberian suhu dingin yang dipilih sebesar 8°C pada bak air bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pompa vakum jet air untuk memvakum tabung pendinginan. Pemberian efek dingin pada bak air dengan cara ditambahkan air es hingga mencapai suhu 8°C. Dalam penelitian lain Hande dan arif (2017), menyatakan bahwa nilai COP dari pendingin vakum mencapai 12 dan efisiensi eksergi maksimum 80 persen untuk suhu 23,9 °C, selajutnya nilai efisiensi

energi dan nilai COP untuk pendinginan vakum dicapai pada tekanan terendah. Hasil pengamatan perubahan tekanan terhadap waktu proses pendinginan menuju titik tekanan maksimum terendah pada masing-masing perlakuan ditampilkan pada grafik dalam gambar 28.

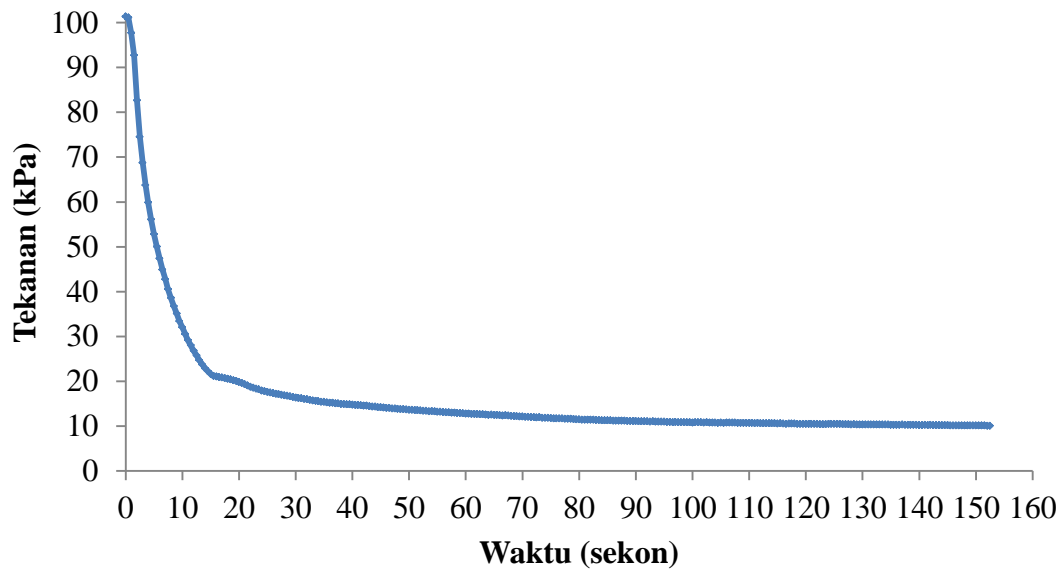


Gambar 23. Perbandingan Laju Tekanan terhadap Waktu Volume 12,5%, 25%, 50%

Gambar 23. menunjukkan laju perubahan tekanan vakum maksimum terendah yang dapat dicapai pompa vakum selama proses pendinginan pada masing-masing perlakuan. Dari perbandingan tersebut menunjukkan bahwa isian 12,5% V/V merupakan proses tercepat untuk pompa mencapai tekanan maksimum terendah selama proses pendinginan dari suhu 63°C sampai 35°C dengan waktu proses selama 104 detik. Sedangkan pendinginan vakum dengan isian 25% V/V dan 50% V/V untuk pompa mencapai tekanan maksimum terendah selama proses pendinginan dari suhu 63°C sampai 35°C berturut-turut adalah 190 detik dan 410 detik. Suhu dingin pada bak air memberikan efek pendinginan terhadap udara yang di tarik keluar melalui pompa vakum yang kemudian disirkulasikan didalam bak air pendingin. Pada tekanan maksimum terendah untuk proses pendinginan madu, nilai efisiensi energi dan nilai COP untuk pendinginan vakum dicapai secara maksimal (Hande dan arif., 2017).

5.4.1 Tekanan Maksimum Terendah Isian 12,5% (V/V)

Pengujian terhadap sampel dengan perlakuan isian 12,5% V/V di tampilkan pada grafik gambar 24.



Gambar 24. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 12,5% V/V

Gambar 24 menunjukkan laju tekanan vakum terhadap waktu selama proses pendingin vakum dengan isian 12,5% V/V. Nilai tekanan maksimum terendah yang dapat dicapai selama proses pendinginan adalah 10 kPa. Pada perlakuan sampel dengan isian 12,5% V/V buih mulai terangkat pada tekanan 21 kPa namun ketika tekanan terus turun buih sudah pecah dan mengalami fenomena pendidihan seperti yang di tunjukkan pada gambar 25b.



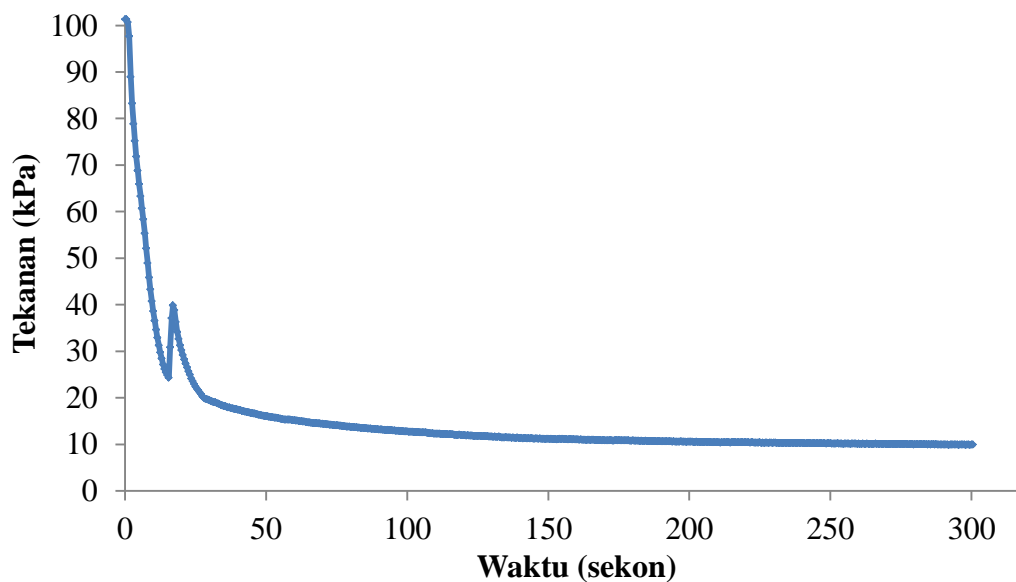
(a).

(b).

Gambar 25. (a). madu sebelum mendidih dan berbusa. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah.

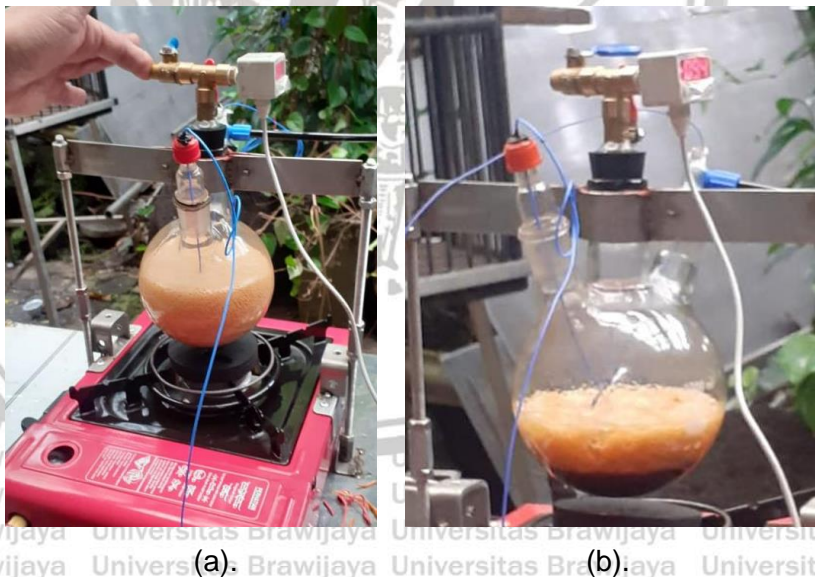
5.4.2 Tekanan Maksimum Terendah Isian 25% (V/V)

Pengujian pada sampel perlakuan isian 25% V/V di tampilkan pada grafik gambar 26.



Gambar 26. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 25% V/V

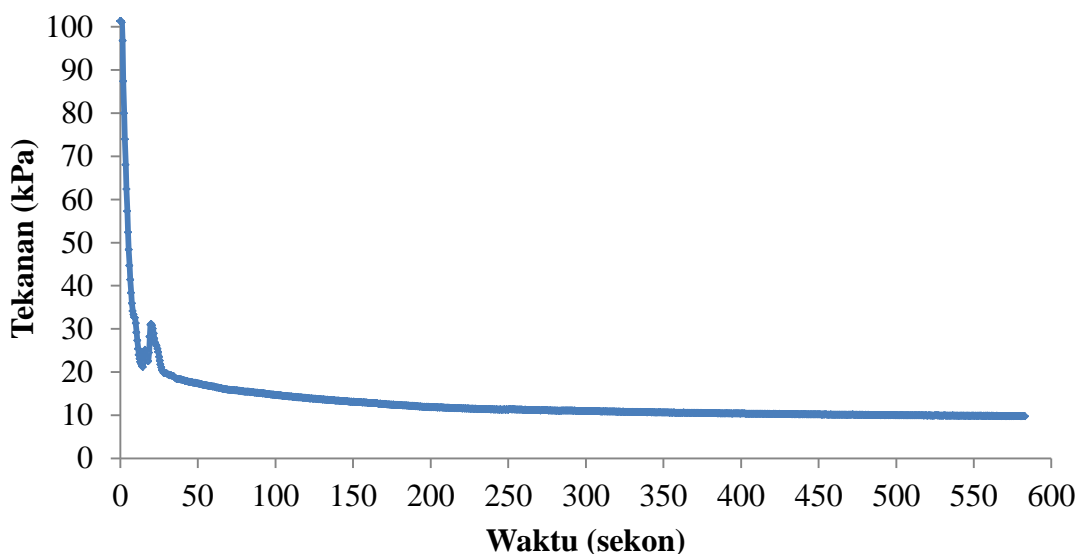
Gambar 26 menunjukkan laju tekanan vakum terhadap waktu selama proses pendinginan vakum dengan isian 25% V/V. Nilai tekanan maksimum terendah yang dapat dicapai selama proses pendinginan adalah 10 kPa. Pada perlakuan sampel dengan isian 25% V/V buih mulai terangkat pada tekanan 23 kPa namun ketika tekanan terus turun buih belum pecah dan buih terangkat menuju lubang output selang vakum sehingga tekanan harus ditambahkan seperti yang terjadi pada grafik mengalami kenaikan tekanan pada tekanan 23 kPa menuju 40 kPa. Penambahan tekanan dilakukan dengan cara membuka keran input udara yang terpasang pada penutup lubang input madu. Apabila tekanan tidak ditambahkan maka madu akan tersedot keluar ruang pendingin menuju bak air sirkulasi. Selanjutnya tekanan kembali turun menuju 10 kPa dan buih madu sudah pecah sehingga terjadi proses pendidihan suhu rendah. Fenomena proses pendinginan tersebut di tampilkan pada gambar 27.



Gambar 27. (a). madu terangkat naik. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah.

5.4.3 Tekanan Maksimum Terendah Isian 50% (V/V)

Pengujian pada sampel perlakuan isian 50% V/V di tampilkan pada grafik gambar 28.



Gambar 28. Laju Tekanan maksimum terendah terhadap Waktu isian 50% V/V

Gambar 28 menunjukkan laju tekanan vakum terhadap waktu selama proses pendinginan vakum dengan isian 50% V/V. Nilai tekanan maksimum terendah yang dapat dicapai selama proses pendinginan adalah 9,8 kPa. Pada perlakuan sampel dengan isian 50% V/V buih mulai terangkat pada tekanan 21 kPa namun ketika tekanan terus turun buih belum pecah dan buih terangkat menuju lubang output selang vakum sehingga tekanan harus ditambahkan. Seperti yang ditampilkan dalam grafik mengalami kenaikan tekanan pada tekanan 21 kPa menuju 31 kPa secara fluktuatif. Penambahan tekanan dilakukan dengan cara membuka keran input udara yang terpasang pada penutup lubang input madu berkali-kali. Berbeda dengan perlakuan isian 25% V/V, proses pemecahan gelembung menuju proses pendidihan pada isian 50% V/V lebih lama hingga detik ke 60. Selanjutnya tekanan kembali turun menuju 10 kPa dan buih madu sudah pecah sehingga terjadi proses pendidihan suhu rendah. Fenomena proses pendinginan tersebut di tampilkan pada gambar 29.



(a).



(b)

Gambar 29. (a). madu terangkat naik. (b). Madu mendidih pada tekanan maksimum terendah.

5.5. Kualitas Madu

Pengujian kualitas madu dilakukan untuk mengetahui perubahan kandungan madu sebelum dan setelah proses pendinginan. Pengujian kualitas dilakukan terhadap masing-masing sampel yang diproses dengan pendingin vakum dan pendingin konvensional. Pengujian setiap mutu sampel di ulang sebanyak 3 kali dan kemudian di rata-rata. Hasil pengukuran kualitas madu yang dilakukan adalah kualitas fisik madu seperti kadar air, viskositas, kerapatan massa jenis sedangkan kualitas mutu madu seperti aktivitas enzim diastase, gula pereduksi, brix, pH ditampilkan pada tabel 5. Dalam penelitian Zhiwei., *et al.*, (2020) hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses *vacuum film cooling* dan *vacuum spray cooling* menurunkan kandungan senyawa volatile. Berbeda dengan penelitian zhiwei., *et al.*, (2020) hasil pengamatan pada tabel 5 menunjukkan bahwa pendingin vakum sistem jet air mampu menekan kerusakan kualitas madu yang terjadi akibat proses pemanasan dibandingkan dengan kualitas madu hasil pendinginan konvensional yang rata-rata lebih rendah nilainya dari pendingin vakum. Berdasarkan tabel 5 secara umum kualitas madu hasil pendinginan vakum telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia.

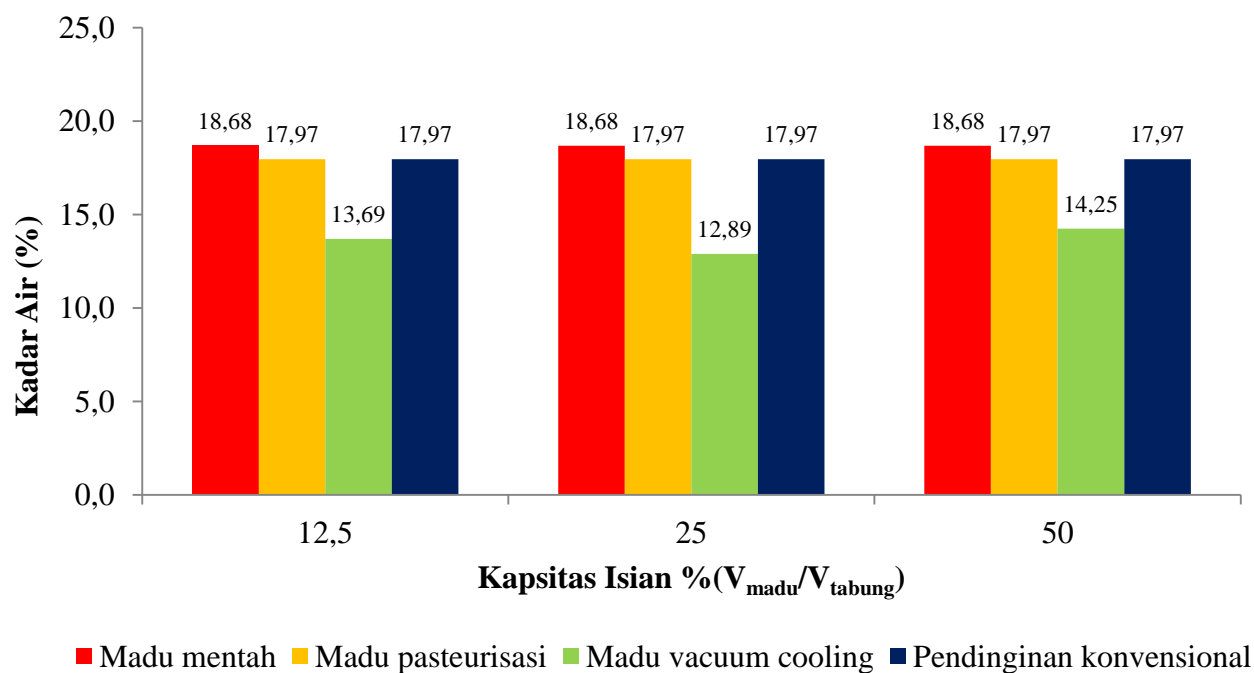
Table 5. Mutu madu hasil penelitian

| No | Kualitas Madu | Sampel % (V/V) | | | Kualitas Madu SNI |
|----|--|--------------------------|-------|-------|-------------------|
| | | 12,5 | 25 | 50 | |
| | | Rata" | Rata" | Rata" | |
| 1 | Kadar Air (%) | Madu mentah | 18,68 | 18,68 | Max 22 |
| | | Madu pasteurisasi | 17,97 | 17,97 | |
| | | Madu vacuum cooling | 13,69 | 12,89 | |
| | | Pendinginan konvensional | 17,97 | 17,97 | |
| 2 | Viskositas (Poise) | Madu mentah | 7,67 | 7,67 | Min 10 *) |
| | | Madu pasteurisasi | 8,04 | 8,04 | |
| | | Madu vacuum cooling | 26,04 | 23,55 | |
| | | Pendinginan konvensional | 8,36 | 8,07 | |
| 3 | Kerapatan Massa Jenis (g/cm ³) | Madu mentah | 1,481 | 1,481 | Min 1,33 *) |
| | | Madu pasteurisasi | 1,481 | 1,485 | |
| | | Madu vacuum cooling | 1,527 | 1,530 | |
| | | Pendinginan konvensional | 1,486 | 1,490 | |
| 4 | Brix (%) | Madu mentah | 74,60 | 74,60 | Min 76 *) |
| | | Madu pasteurisasi | 75,00 | 75,00 | |
| | | Madu vacuum cooling | 78,16 | 78,16 | |
| | | Pendinginan konvensional | 76,00 | 75,50 | |
| 5 | Enzim Diastase (DN) | Madu mentah | 3,15 | 3,15 | Min 1 |
| | | Madu pasteurisasi | 2,12 | 2,02 | |
| | | Madu vacuum cooling | 2,11 | 1,32 | |
| | | Pendinginan konvensional | 1,15 | 1,17 | |
| 6 | Gula Pereduksi (%) | Madu mentah | 62,96 | 57,88 | Min 65 |
| | | Madu pasteurisasi | 85,10 | 68,71 | |
| | | Madu vacuum cooling | 64,81 | 54,88 | |
| | | Pendinginan konvensional | 77,66 | 68,55 | |
| 7 | Keasaman (ml NaOH/Kg) | Madu mentah | 37,33 | 37,33 | Max 50 |
| | | Madu pasteurisasi | 42,33 | 40,33 | |
| | | Madu vacuum cooling | 40,00 | 39,66 | |
| | | Pendinginan konvensional | 44,00 | 43,00 | |

*) Berdasarkan literatur

5.5.1. Kadar Air (%)

Kadar air merupakan nilai kandungan air yang terdapat dalam madu dan dinyatakan dalam % berat. Kadar air menjadi tolak ukur utama untuk penyimpanan madu setelah dipanen. Oleh karena itu madu yang baru dipanen dari sarang memiliki kadar air lebih dari 22% harus di proses terlebih dahulu dan dikurangi kadar airnya dibawah 22% supaya kualitas madu tetap terjaga. Disisi lain madu sendiri memiliki sifat higroskopis yang artinya madu mudah menyerap air dari udara atau lingkungan sekitar. Hasil penelitian bahwa proses pendingin vakum selain memberikan efek proses pendinginan juga menjadi proses evaporasi dengan suhu rendah. Hasil pengamatan perubahan kadar air madu mentah (*raw material*), setelah proses pasteurisasi, proses pendinginan vakum dan pendinginan konvensional ditampilkan dalam grafik dalam gambar 30.



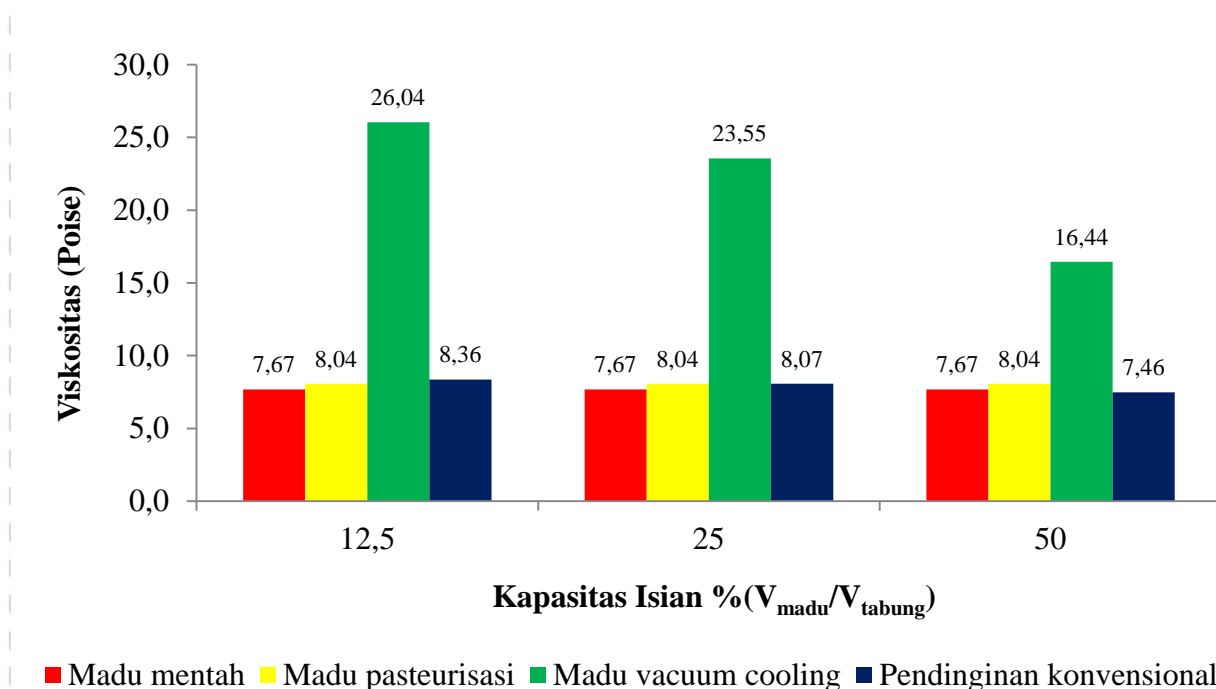
Gambar 30. Perubahan kadar air madu setelah berbagai proses.

Berdasarkan grafik dalam gambar 30 menunjukkan bahwa pendingin vakum memberikan efek evaporasi dengan suhu rendah karena terjadi penurunan kadar air setelah proses pasteurisasi. Kadar air madu mentah adalah 18,68% setelah di

pasteurisasi kadar air turun menjadi 17,97%, hal tersebut di pengaruhi keadan RH lingkungan yang lebih rendah sehingga terjadi penguapan (Gojmerac, 1983). Setelah proses pendingin vakum kadar air madu pada masing masing perlakuan mengalami penurunan. Pada sampel madu dengan isian 12,5% (V/V), 25% (V/V), dan 50% (V/V) berturut-turut nilai kadar airnya adalah 13,7%, 12,9%, dan 14,25%. Pengurangan kadar air madu disebabkan karena air menguap pada saat tekanan didalam tabung pendingin turun dibawah 1 atm (Ozturk et al., 2011). Sedangkan pada pendinginan konvensional nilai kadar airnya adalah 17,97%, madu tidak mengalami pengurangan kadar air dari setelah proses pasteurisasi.

5.5.2. Viskositas

Viskositas madu dipengaruhi oleh suhu dan kadar air yang terkandung dalam madu tersebut. Hasil penelitian pengukuran viskositas ditampilkan dalam grafik gambar 31.



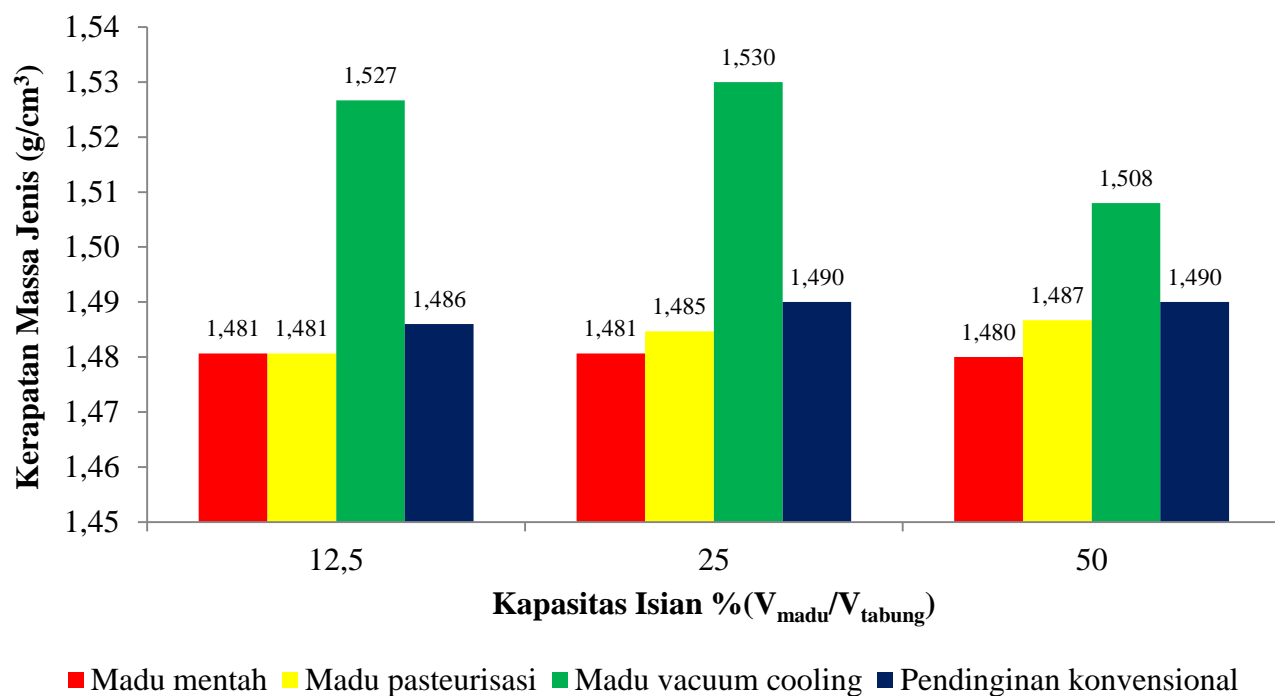
Gambar 31. Perubahan nilai viskositas

Berdasarkan grafik gambar 31 bahwa nilai viskositas mengalami perubahan pada setiap proses. Nilai viskositas madu mentah atau *raw material* adalah 7,67 Poise, setelah

dilakukan proses pasteurisasi nilai viskositas naik menjadi 8,04 poise. Setelah dilakukan pendinginan vakum, pada masing masing perlakuan 12,5% (V/V), 25% (V/V) dan 50% (V/V) nilai viskositas madu berturut-turut naik menjadi 26,04 Poise, 23,55 Poise, dan 16,44 Poise. Sedangkan pada pendingin konvensional nilai viskositas pada masing-masing isian 12,5% (V/V), 25% (V/V), dan 50% (V/V) berturut-turut adalah 8,36 Poise, 8,07 Poise, dan 7,46 Poise. Nilai viskositas dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung dalam madu, semakin rendah kadar air maka semakin tinggi nilai viskositas tersebut (Susanto., 2007). Selain itu viskositas juga di pengaruhi oleh suhu bahan yang diukur, maka dari itu pengukuran dilakukan seragam pada suhu 30°C (Sihombing., 2005).

5.5.3. Kerapatan Massa Jenis

Kerapatan massa jenis merupakan berat khas dari madu tersebut. Kerapatan massa jenis menjadi salah satu parameter pengamatan apakah madu tersebut memiliki kualitas yang baik atau madu tersebut memiliki kualitas yang tidak baik. Hasil penelitian pengukuran kerapatan massa jenis madu di tampilkan dalam grafik gambar 32.

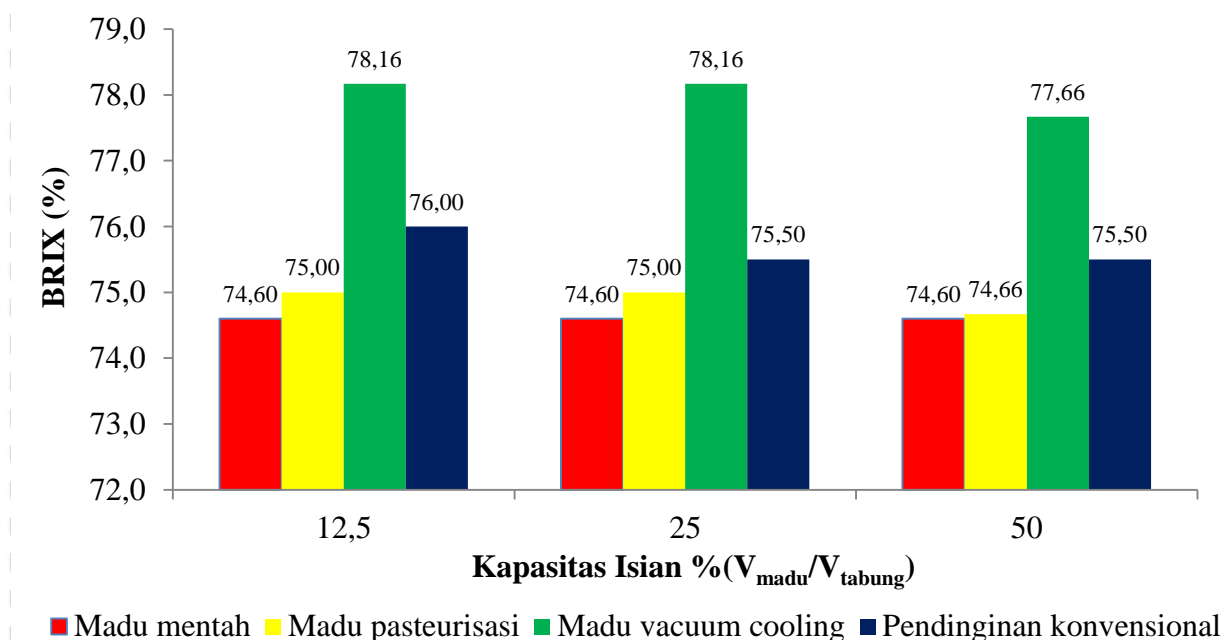


Gambar 32. Grafik perubahan kerapatan Massa jenis

Berdasarkan gambar 32 nilai kerapatan massa jenis madu mengalami perubahan pada proses pasteurisasi, dan pendingin konvensional pada masing-masing perlakuan. Sedangkan pada pendingin vakum nilai kerapatan massa jenis lebih tinggi dibandingkan proses pendingin vakum. Hal tersebut dikarenakan nilai kadar air madu setelah proses pendingin vakum lebih rendah dibandingkan pendingin konvensional. Menurut James *et al.*, (2009) madu yang encer atau memiliki kadar air yang tinggi (> 22%) akan memiliki nilai kerapatan massa jenis yang rendah. Oleh sebab itu kerapatan massa jenis dapat dijadikan indikator apakah madu tersebut memiliki kualitas yang baik atau tidak baik (Istiani., 2018).

5.5.4. Brix Madu

Derajat brix madu diukur menggunakan brix refraktometer dengan skala 60-92 % untuk di ketahui perubahan nilai brix pada masing-masing perlakuan. Satuan yang digunakan dalam pengukuran nilai brix adalah persentase (%). Hasil penelitian di tampilkan dalam grafik gambar 33.

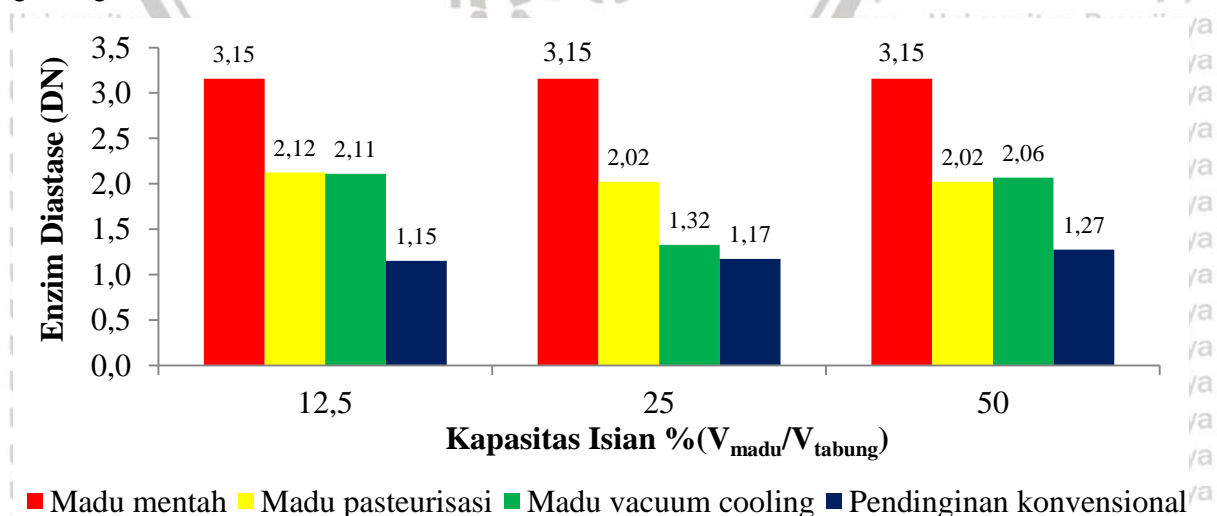


Gambar 33. Grafik perubahan brix madu

Berdasarkan gambar 33. Menunjukkan bahwa proses pendingin vakum dapat meningkatkan nilai brix madu. Nilai brix madu awal pada perlakuan dengan isian 12,5% (V/V), 25% (V/V), dan 50% (V/V) setelah proses pasteurisasi berturut-turut adalah 75%, 75% dan 74,7%. Selanjutnya madu yang didinginkan dengan pendingin vakum mengalami kenaikan nilai persen brixnya. Nilai brix madu pada perlakuan isian 12,5% (V/V), 25% (V/V), dan 50% (V/V) memiliki nilai berturut-turut adalah 78,16%, 78,16% dan 77,66%. Sedangkan pada pendingin konvensional nilai brix madu dengan isian 12,5% (V/V), 25% (V/V), dan 50% (V/V) berturut-turut adalah 76%, 75,5%, dan 75,5%. Nilai brix madu pada pendingin vakum lebih tinggi dibandingkan nilai brix madu proses pendinginan konvensional. Peningkatan nilai brix pada proses pendingin vakum didukung dengan penelitian yang dilakukan Istianah (2017), bahwa proses evaporasi mampu meningkatkan nilai brix. Madu dengan nilai brix yang tinggi lebih disukai oleh konsumen karena dirasa memiliki rasa manis yang khas (susanto., 2007). Semakin tinggi nilai brix dalam sebuah cairan maka semakin manis rasa yang terdapat di cairan atau produk makanan tersebut (Turkmen *and* eksn., 2011).

5.5.5. Enzim Diastase

Hasil penelitian menunjukkan bahwa enzim yang terdapat pada madu setelah proses pemanasan dan pendinginan mengalami perubahan. Hasil pengujian di tunjukan dalam grafik gambar 34.

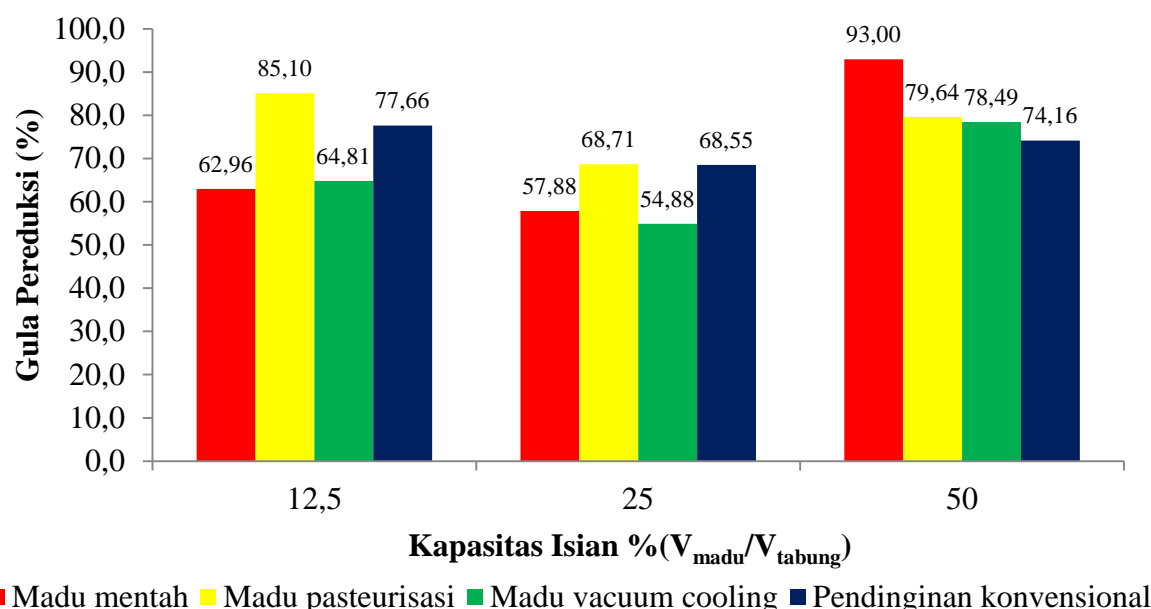


Gambar 34. Aktivitas Enzim Diastase

Enzim diastase sangat sensitif terhadap suhu dan panas yang digunakan untuk proses. Berdasarkan gambar 34 nilai enzim diastase mengalami perubahan setelah proses pasteurisasi. Nilai enzim diastase pada madu mentah adalah 3,156 DN, setelah proses pasteurisasi pada perlakuan isian 12,5 % V/V, 25% V/V, dan 50% V/V berturut-turut adalah 2,12 DN, 2,02 DN, dan 2,02 DN. Kemudian nilai enzim diastase pada pendingin vakum pada perlakuan isian 12,5 % V/V, 25% V/V, dan 50% V/V berturut-turut adalah 2,11 DN, 1,32 DN, dan 2,06 DN. Sedangkan nilai enzim diastase pada pendingin konvensional pada perlakuan isian 12,5 % V/V, 25% V/V, dan 50% V/V berturut-turut adalah 1,15 DN, 1,17 DN, dan 1,27 DN. Dalam penelitian Khan *et al.*, (2015a) Nilai enzim berkurang dengan adanya proses pemanasan. Namun dari hasil penelitian ini kerusakan enzim diastase dapat di tekan dengan proses pendingin vakum sistim jet air. Pada pendingin konvensional nilai enzim diastase lebih rendah dari pada pendingin vakum. Hal tersebut karena pada pendingin konvensional panas yang masih tersimpan lama didalam bahan setelah proses pemanasan, sehingga memicu terjadinya pengurangan enzim diastase pada madu. Aktivitas diastase lebih sensitif terhadap perpanjangan waktu pemanasan daripada peningkatan suhu (Singh, 2018). Setelah 3 jam pada suhu 50 °C, aktivitas enzimatik berkurang secara drastis (53,71%) dibandingkan dalam kasus pemanasan pada suhu yang lebih tinggi tetapi rentang waktu yang lebih pendek seperti 48,29% selama 0,5 jam pada 100 °C atau 49,55% selama 1 jam pemanasan pada 80 °C (Cozmuta *et al.*, 2011). Nilai enzim diastase harus di pertahankan sesuai standar yang berlaku, karena menurut Suratno (2004) enzim diastase berkaitan dengan jumlah kandungan *Hydroxy Methyl Furfural* (HMF) dimana jika nilai DN madu lebih besar dari 8 maka nilai kandungan HMF batas maksimumnya adalah 60 mg/kg, sedangkan jika nilai DN madu di bawah 8 maka nilai kandungan HMF tidak boleh melebihi 15 mg/kg.

5.5.6. Gula Pereduksi

Gula pereduksi dipengaruhi oleh perlakuan panas pada proses pengolahan madu setelah di panen. Nilai gula pereduksi akan rendah apabila panas yang digunakan dalam proses pengolahan madu terlalu tinggi. Nilai gula pereduksi pada setiap perlakuan di tampilkan dalam grafik gambar 35.



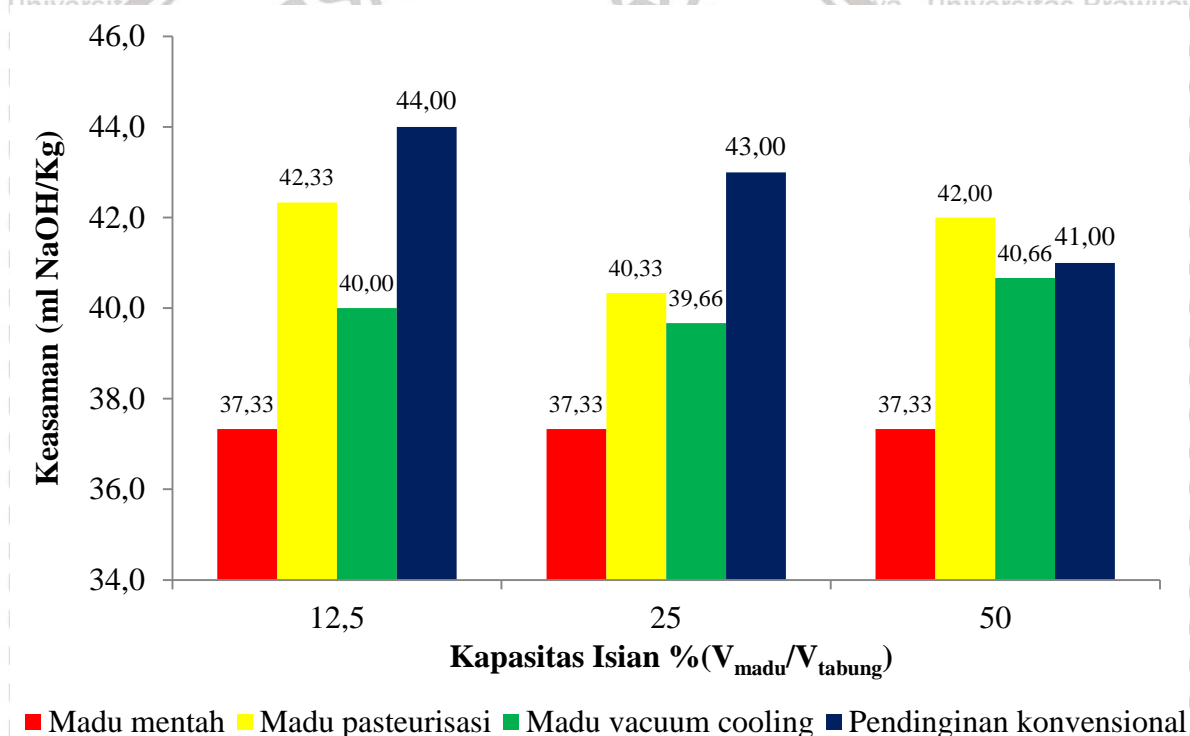
Gambar 35. Grafik nilai gula pereduksi

Berdasarkan gambar 35 nilai gula pereduksi dapat diketahui terjadi perubahan yang fluktuatif pada berbagai perlakuan. Perlakuan isian 12,5% V/V nilai gula pereduksi awal adalah 62,96% setelah dilakukan proses pasteurisasi naik menjadi 85,10%. Selanjutnya pada proses pendingin vakum dan pendingin konvensional nilai gula pereduksi nya berturut-turut adalah 64,81% dan 77,66%. Selanjutnya pada perlakuan isian 25% V/V nilai gula pereduksi awal adalah 57,88% setelah dilakukan proses pasteurisasi naik menjadi 68,71%. Selanjutnya pada proses pendingin vakum dan pendingin konvensional nilai gula pereduksi nya berturut-turut adalah 54,88% dan 68,55%. Sedangkan pada perlakuan isian 50% V/V nilai gula pereduksi awal adalah 93% setelah dilakukan proses pasteurisasi turun menjadi 79,64%. Selanjutnya pada proses pendingin vakum dan pendingin konvensional nilai gula pereduksi nya berturut-turut adalah 78,49% dan 74,16%. Berubahnya nilai gula pereduksi tersebut dikarenakan oleh suhu pemanasan seperti dalam penelitian Suhaela *et al.* (2016), semakin tinggi perlakuan pemanasan maka akan menyebabkan kadar gula pereduksinya semakin berkurang dikarenakan kandungan sukrosa pada madu akan terinvensi akibat pemanasan. Penelitian lain Kurniawan *et al.* (2015) juga menyebutkan gula kompleks di pecah menjadi gula sederhana karena adanya pemanasan, gula sederhana tersebut termasuk glukosa, fruktosa dan gula invert. Savitri, *et al.*, (2007) dalam penelitiannya menyebutkan adanya keterkaitan gula pereduksi dengan

keasaman, dimana dengan adanya asam selama proses pemanasan, sukrosa akan menjadi gula invert yaitu fruktosa dan glukosa yang merupakan gula pereduksi. Wulandari., (2007) juga menyebutkan bahwa terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi kadar gula pereduksi madu diantaranya adalah kadar air, masa panen, dan kelembapan.

5.5.7. Keasaman Madu (pH)

Madu memiliki nilai pH yang rendah hal tersebut yang menyebabkan bakteri patogen tidak dapat berkembangbiak. Hasil pengujian keasaman madu di tunjukan dalam grafik gambar 36.



Gambar 36. Nilai Keasaman madu

Grafik dalam gambar 36 menunjukkan nilai keasaman madu pada setiap proses perlakuan. Nilai keasaman madu awal pada setiap perlakuan adalah 37,33 ml NaOH/Kg. setelah dilakukan pasteurisasi pada isian 12,5% V/V, 25% V/V dan 50% V/V nilai keasaman madu naik berturut-turut 42,33 ml NaOH/Kg, 40,33 ml NaOH/Kg, dan 42 ml NaOH/Kg. Setelah melalui proses pendinginan vakum nilai keasaman madu turun pada

masing-masing isian 12,5% V/V, 25% V/V dan 50% V/V berturut-turut adalah 40 ml NaOH/Kg, 39,66 ml NaOH/Kg dan 40,67 ml NaOH/Kg. Namun pada pendingin konvensional nilai keasaman madu naik pada masing-masing isian 12,5% V/V, 25% V/V dan 50% V/V berturut-turut adalah 44 ml NaOH/Kg, 43 ml NaOH/Kg dan 41 ml NaOH/Kg. kedua hasil proses pendinginan telah memenuhi nilai keasaman madu menurut SNI 2018 yaitu tidak boleh lebih dari 50 ml NaOH/Kg. Proses pendingin vakum mampu menekan terjadinya kenaikan terhadap nilai keasaman madu setelah proses pemanasan. Berdasarkan hasil penelitian Rasyid (2016) keasaman madu dipengaruhi oleh perubahan suhu, semakin tinggi suhu pemanasan maka nilai keasaman akan semakin bertambah. Penelitian Winarno (1992) menyebutkan bahwa unsur yang menyebabkan rasa asam merupakan ion H^+ , apabila konsentrasi ion hidrogen (keasaman) bertambah maka pH akan mengalami penurunan dan nilai kenadungan HMF bertambah tinggi.



BAB VI. KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Proses pendingin vakum untuk mendinginkan madu lebih cepat dibandingkan dengan proses pendinginan madu secara konvensional.
2. Berdasarkan pengamatan terhadap lama waktu pendinginan, nilai laju kecepatan pendinginan atau konstanta (K) pendingin vakum dan nilai tekanan maksimum terendah, aspek mekanis dari proses pendingin vakum sistem jet air menunjukkan hasil yang maksimum.
3. Berdasarkan pengamatan terhadap lama waktu pendinginan dan nilai laju kecepatan pendinginan atau konstanta (K) dari proses pendinginan, pendingin konvensional lebih lambat dan nilai laju pendinginan lebih kecil dibandingkan pendingin vakum sistem jet air.
4. Proses pendingin vakum mampu menekan kerusakan kualitas mutu dan fisik madu akibat proses pemanasan. Nilai kadar air, enzim diastase, gula pereduksi dan keasaman madu telah sesuai dengan SNI madu, sedangkan nilai brix, viskositas dan kerapatan massa jenis juga sesuai dengan beberapa literatur yang sudah ada. Kualitas mutu dan fisik madu dari proses pendingin vakum lebih baik dibandingkan pendingin konvensional.

6.2. Saran

Setelah melakukan seluruh kegiatan, saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian dengan jenis madu dengan varietas nektar dari bunga lain yang memiliki spesifikasi awal lebih baik dari madu hutan Riau.
2. Perlu penelitian lanjut mengenai gelembung (gas) udara yang terperangkap pada saat proses pendinginan vakum.
3. Perlu dilakukan pengamatan pengaruh RH lingkungan terhadap proses pendingin vakum dan pendingin konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S., 1991, *Analisis Kimia Produk Lebah Madu dan Pelatihan Staf Laboratorium Pusat Perlebahan Nasional Parung Panjang*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Institut Pertanian Bogor.
- Acker, R., & Ball, K. M. J. (1977). Modulated vacuum cooling and vacuum treatment of bakery products. *Getreide Mehl und Brot*, 31, 134–138
- Aden, R. (2010). *Manfaat & Khasiat Madu Keajaiban Sang Arsitek Alam*. Yogyakarta: Hanggar Kreator.
- Aini, N., Hariyadi, P., Muchtadi, T. R., & Andarwulan, N. (2009). Hubungan sifat kimia dan rheologi tepung jagung putih dengan fermentasi spontan butiran jagung. In *Forum Pas-casarjana* (Vol. 32, No. 1, pp. 33-43).
- Amaliya, R., Riad S., Sugianto. 2016. *Pengaruh Sifat Fisika Terhadap Kemurnian Madu yang Beredar di Kota Pekanbaru*. Karya Ilmiah. Riau: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.
- Anwariyah, R. (2018). *Analisis Kualitas Fisik dan Kimia Minyak Goreng pada Penggorengan Ikan Lele (Clarias gariepinus B.) Secara Berulang dengan Vacuum Frying* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Apriani, D. (2013). Studi tentang nilai viskositas madu hutan dari beberapa daerah di sumatera barat untuk mengetahui kualitas madu. *Pillar of Physics*, 2(1).
- Ariandi, A., & Khaerati, K. (2018, August). Uji AKTIVITAS ENZIM DIASTASE, HIDROKSIMETILFURFURAL (HMF), KADAR GULA PEREDUKSI, DAN KADAR AIR PADA MADU HUTAN BATTANG. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*.
- Barger, W. R. (1961). *Factors affecting temperature reduction and weight-loss in vacuum-cooled lettuce* (No. 469). US Department of Agriculture, Marketing Quality Research Division, Agricultural Marketing Service
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Elsevier.
- Bresnick, Stephen. 2002. *Intisari Kimia Umum*. Jakarta: Hipokrates

- Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2001a). Compensation for water loss in vacuum pre-cooled cut lily flowers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(3), 299–305
- Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2003). Influence of modulated vacuum cooling on the cooling rate, mass loss and vase life of cut lily flowers. *Biosystems Engineering*, 86(1), 45–49
- Cavia, M. M., Fernandez-Muino, M. A., Gómez-Alonso, E., Montes-Pérez, M. J., Huidobro, J. F., & Sancho, M. T. (2002). Evolution of fructose and glucose in honey over one year: influence of induced granulation. *Food chemistry*, 78(2), 157-161
- Chaohui Feng, Liana Drummond, Zhihang Zhang, Da-Wen Sun & Qijun Wang (2012) Vacuum Cooling of Meat Products: Current State-of-the-Art Research Advances, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52:11, 1024-1038, DOI: 10.1080/10408398.2011.594186
- Codex Alimentarius, 2001, *Codex Alimentarius Standard for Honey: Draft Revised, Alinorm 01/25 19-26*, FAO and WHO, Rome.
- Cooper, R. A., Molan, P. C., & Harding, K. G. (1999). Antibacterial activity of honey against strains of *Staphylococcus aureus* from infected wounds. *Journal of the royal society of medicine*, 92(6), 283-285.
- Cozmuta AM, Cozmuta LM, Varga C, Marian M, Peter A (2011) *Effect of thermal processing on quality of polyfloral honey*. *Romanian J Food Sci* 1(1):45–52
- Di Risio, T. (1990). Vacuum cooling in food processing. *Prepared Foods*, 159, 195–197.
- Escriche, I., Visquert, M., Juan-Borrás, M., & Fito, P. (2009). *Influence of Simulated Industrial Thermal Treatments on The Volatile Fractions of Different Varieties of Honey*. *Food Chemistry*, 112(2), 329–338.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.068>
- Eshete, Y., & Eshete, T. (2019). *A Review on the Effect of Processing Temperature and Time duration on Commercial Honey Quality*. *Madridge Journal of Food Technology*, 4(1), 158–162. <https://doi.org/10.18689/mjft-1000124>
- Gairola, A., Tiwari, P., & Tiwari, J. K. (2013). *Physico-chemical properties of Apis cerana-indica F. honey from Uttarkashi district of Uttarakhand, India*. *Journal of Global Biosciences*, 2(1), 20-25

Giancoli, D.C. 2001. Fisika. Edisi 5 Jilid 1. Terjemahan Yuhilza Hanum. Jakarta: Erlangga

Ghazali HM, Ming CT, Hashim DM. *Effect of Microwave Heating on the Storage and Properties of Starfruit Honey*. ASEAN Food J. 1994; 9(1): 30- 35

Guo, W., Zhu, X., Liu, Y., & Zhuang, H. (2010). Sugar and water contents of honey with dielectric property sensing. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 275-281.

Gojmerac, W. L., 1983. Bee, Beekeeping honey And Pollonation.

Harjo, S. S. T., Radiati, L. E., & Rosyidi, D. (2015). *Perbandingan Madu Karet dan Madu Rambutan Berdasarkan Kadar Air, Aktivitas Enzim Diastase dan Hidroximetilfurfural (HMF)*. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak, 10(1), 18–21. <https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2015.010.01.3>

Hasan SH (2013) *Effect of storage and processing temperatures on honey quality*. J Babylon Univ/Pure Appl Sci 21(6):2244–2253

Hernandez C, Correa A, Quicazan M (2015) *Effect of the tyndallization on the quality of Colombian honeys*. Chem Eng Trans 43:19–24

Hudri, F. A. (2014) *Uji Efektivitas Madu Multiflora dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri Salmonella typhi*

H. M., & Hepbasli, A. (2017). Experimental performance assessment of a vacuum cooling system through.

Istianah, N. (2017). EVAPORASI MULTI-TAHAP MENGGUNAKAN FALLING FILM EVAPORATOR (FFE) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PRODUKSI KONSENTRAT NANAS MADU. *Prosiding Semnastek*.

Istiani, N. A. (2018). *Analisis kualitas madu yang beredar di kota Semarang berdasarkan parameter massa jenis, indeks bias, dan tegangan permukaan* (Doctoral dissertation, UIN Walisongo)

James, O.O., Mesubi M.A., Usman L.A., Yeye S.O., Ajanaku K.O., Ogunniran K.O., Ajani O.O., Siyanbola T.O. 2009. xvd. International Journal of Physical Sciences. 4 (9): 464 – 470.

Kasli, E., & Royani, R. (2016). *Menentukan Kemurnian Larutan Melalui Indeks Bias dari Beberapa Madu*. Serambi Saintia: Jurnal Sains dan Aplikasi, 4(1)

Khan ZS, Nanda V, Bhat MS, Khan A (2015a) Kinetic studies of HMF formation and diastase activity in two different honeys of Kashmir. Int J Curr Microbiol App Sci 4(4):97–107

Khasanah, R., Parman, S. and Suedy, S.W.A., 2017. Kualitas Madu Lokal Dari Lima Wilayah di Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(1), pp.29-37.

Kuc, J., Grochowalski, A., & Kostina, M. (2017). Determination of the diastase activity in honeys. *Technical Transactions*, 10(8), 29-35.

Kurniawan, F., Hartini, S., & Hastuti, D. K. A. K. (2015). Pengaruh Pemanasan Terhadap Kadar Pati Dan Gula Reduksi pada Tepung Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus* Lamk). In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains X. BI/KI/MA* (pp. 1-10).

Lastriyanto, A., Soeparman, S., Soenoko, R., & HS, S.2011. *IDENTIFIKASI LAJU PENGUAPAN AIR PADA PENGGORENGAN VAKUM BUAH NANAS*.

Longmore, A. P. (1973). The pros and cons of vacuum cooling. *Food Industries of South Africa*, 26(6-7), 9-11

Malpas, E. W. (1972). Vacuum equipment for evaporative cooling. *Process Biochemistry* (October), 15-17

McDonald, K., & Sun, D.-W. (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review. *Journal of Food Engineering*, 45, 55-65.

McDonald, K., Sun, D.-W., & Kenny, T. (2000). Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum cooling and by conventional cooling. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologies*, 33, 21-29.

McDonald, K., & Sun, D.-W. (2001a). The formation of pores and their effects in a cooked beef product on the efficiency of vacuum cooling. *Journal of Food Engineering*, 47, 175-183.

Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.
<https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

Ndife, J., Abioye, L. and Dandago, M., 2014. Quality assessment of Nigerian honey sourced from different floral locations. *Nigerian Food Journal*, 32(2), pp.48-55.

Ozturk, H. M., Ozturk, H. K., & Kocar, G. (2011). Comparison of vacuum cooling with conventional cooling for purslane. *International Journal of Food Engineering*, 7(6)

Ozturk, H. M., & Hepbasli, A. (2017). Experimental performance assessment of a vacuum cooling system through exergy analysis method. *Journal of Cleaner Production*, 161, 781-791.

- Padmanabhan, M. (1995). Measurement of extensional viscosity of viscoelastic liquid foods. *Journal of food engineering*, 25(3), 311-327.
- Parmitasari, P., & Hidayanto, E. (2013). Analisis Korelasi Indeks Bias dengan Konsentrasi Sukrosa Beberapa Jenis Madu menggunakan Portable Brix Meter. *Youngster Physics Journal*, 2(4), 191-198.
- Rahmani, M. F. (2004). Keakuratan Metode Uji Larut untuk Keaslian Madu (Studi Kasus di Kota Bogor). *Skripsi Jurusan Ilmu Produksi Ternak, Fakultas Peternakan, IPB. Bogor*.
- Raeymaekers, B. (2006). *A Prospective Biomonitoring Campaign With Honey Bees in a District of Upper-Bavaria (Germany)*. Environmental Monitoring and Assessment, 116(1), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-7389-8>
- Rasyid, S. (2016). PENGARUH PEMANASAN DAN LAMA PENYIMPANAN TERHADAP KADAR 5-(HIDROKSIMETIL) FURAN-2-KARBALDEHIDA (HMF) PADA MADU ASAL MALLAWA.
- Rogate, S. M. (2020). *Penetapan Keasaman pada Madu*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rosanti, Y.M. 2016. *Penyelesaian Numerik Persamaan Keseimbangan Massa Reaktor Menggunakan Metode Lax Wendroff*. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Savitri, N. P. T., Hastuti, E. D., & Suedy, S. W. A. (2017). Kualitas madu lokal dari beberapa wilayah di kabupaten Temanggung. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* (Bulletin of Anatomy and Physiology), 2(1), 58-66.
- Shewfelt, R. L., & Phillips, R. D. (1996). Seven principles for better quality of refrigerated fruits and vegetables. *Science et Technique du Froid (France)*.
- Sihombing, D. T. H. (2005). Ilmu ternak lebah madu. Yogyakarta
- Singh, I., & Singh, S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of food science and technology*, 55(10), 3861-3871
- SNI Madu 8664:2018, (2018)
- Song, X. Y., Liu, B. L., Jaganathan, G. K., & Chen, L. (2015). Mechanism of spillage and excessive boiling of water during vacuum cooling. *International Journal of Refrigeration*, 56, 37-42.
- Suhaela, A. Noor, A. Ahmad, "Effect Of Heating And Storage Time Levels 5-(Hydroxy Methyl) Furan-2- Karbaldehida (HMF) In Honey Origin Mallawa",

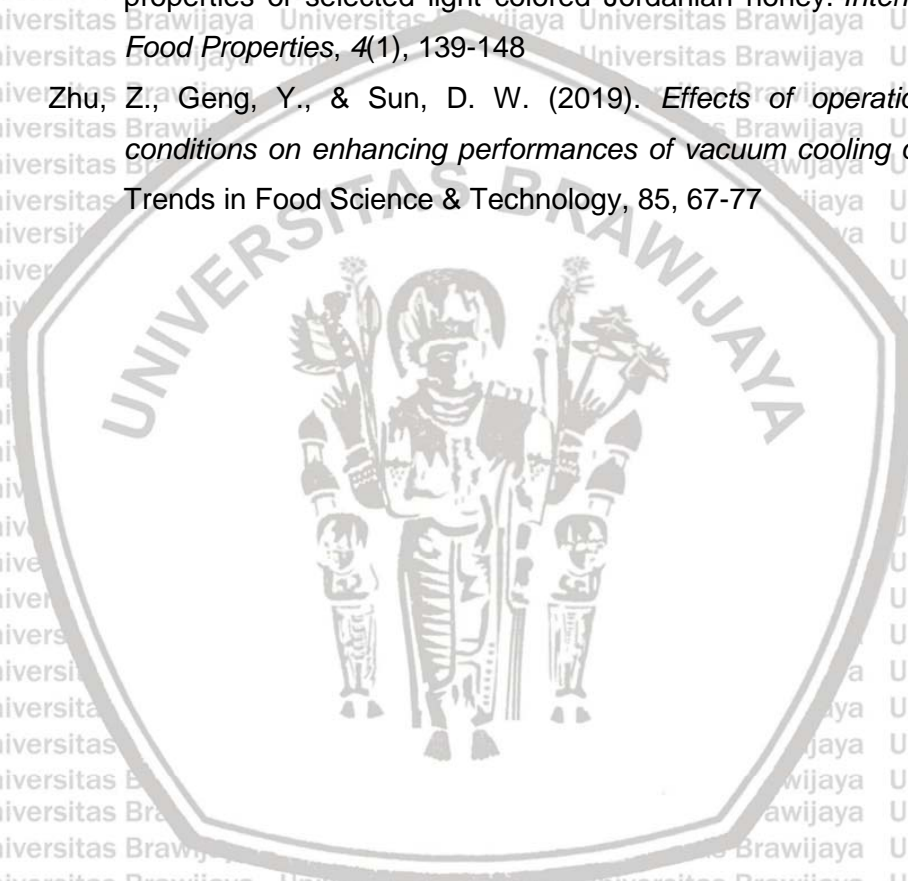
- International Journal Marina Chimica Acta*, vol. 17, no. 2, pp. 24 – 31, 2016, doi : <https://doi.org/10.20956/mca.v17i2.1124>.
- Sumoprastowo, R. M., & Suprpto, R. A. (1980). *Beternak lebah madu modern*. Bhratara karya Aksara
- Sun, D.-W., & Wang, L. J. (2001). Vacuum cooling. In D.-W. Sun (Ed.), *Advances in food refrigeration* (pp. 264–304). Randalls Road, Leatherhead, Surrey KT22 7RY, UK: Leatherhead Publishing, LFRA Ltd.
- Sun, D. W., & Zheng, L. (2006). Vacuum cooling technology for the agri-food industry: Past, present and future. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 203–214.
- Suranto, A., 2004, *Khasiat dan Manfaat Madu Herbal*, Agro Media Pustaka, Jakarta
- Susanto, A. (2007). Terapi madu. Niaga Swadaya.
- Toledo, V. De, Takasusuki, M., Oliveira, A., Chambó; ED, & Lopes, S. (2012). Spectrophotometry as a Tool for Dosage Sugars in Nectar of Crops Pollinated by Honeybees. *Macro To Nano Spectroscopy*, 269–290. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/236144352_Macro_To_Nano_Spectroscopy/file/504635165706dce3b3.pdf#page=279
- Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H. A., & Ré, E. (2008). Honey diastase activity modified by heating. *Food chemistry*, 106(3), 883–887.
- Turhan, I., Tetik, N., Karhan, M., Gurel, F., & Reyhan Tavukcuoglu, H. (2008). Quality of Honeys Influenced By Thermal Treatment. *Food Science and Technology*, 41(8), 1396–1399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.008>
- Türkmen, İ., & Ekşi, A. (2011). Brix degree and sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Food chemistry*, 127(3), 1404–1407.
- White, J. W. (1978). Honey. *Advances in Food Research*, 24(C), 287–374. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60160-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60160-3)
- White, J. W. (1992). QUALITY EVALUATION OF HONEY-ROLE OF HMF AND DIASTASE ASSAYS. 1. *American Bee Journal*, 132(11), 737–742.
- White Jr, J. W. (1979). Spectrophotometric method for hydroxymethylfurfural in honey. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 62(3), 509–514.
- Wibowo, S. A., Lastriyanto, A., Hawa, L. C., Erwan, E., Junus, M., Jaya, F., ... & Lamerlabel, J. S. A. (2021). *UNJUK KINERJA ALAT PASTEURISASI PADA*

PROSES PASTEURISASI MADU: STUDI KASUS PT KEMBANG JOYO SRIWIJAYA. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, 9(1), 11-21.

Wulandari, D. D. (2017). *Analisa Kualitas Madu (Keasaman, Kadar Air, dan Kadar Gula Pereduksi) Berdasarkan Perbedaan Suhu Penyimpanan*. Jurnal Kimia Riset, 2(1), 16-22.

Zaitoun, S., Ghzawi, A. A. M., Al-Malah, K. I., & Abu-Jdayil, B. (2001). Rheological properties of selected light colored Jordanian honey. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 139-148

Zhu, Z., Geng, Y., & Sun, D. W. (2019). *Effects of operation processes and conditions on enhancing performances of vacuum cooling of foods: A review*. Trends in Food Science & Technology, 85, 67-77



Lampiran 1. Hasil pengujian kerapatan massa jenis madu

| NO | Kode | Ulangan | Kerapatan Massa Jenis (g/cm ³) | NO | Kode | Ulangan | Kerapatan Massa Jenis (g/cm ³) | NO | Kode | Ulangan | Kerapatan Massa Jenis (g/cm ³) |
|----|------|---------|--|----|------|---------|--|----|------|---------|--|
| 1 | S1K1 | 1 | 1,48 | 10 | S1K2 | 1 | 1,48 | 19 | S1K3 | 1 | 1,53 |
| 2 | | 2 | 1,48 | 11 | | 2 | 1,48 | 20 | | 2 | 1,53 |
| 3 | | 3 | 1,48 | 12 | | 3 | 1,48 | 21 | | 3 | 1,52 |
| 4 | S2K1 | 1 | 1,48 | 13 | S2K2 | 1 | 1,48 | 22 | S2K3 | 1 | 1,54 |
| 5 | | 2 | 1,48 | 14 | | 2 | 1,49 | 23 | | 2 | 1,51 |
| 6 | | 3 | 1,48 | 15 | | 3 | 1,48 | 24 | | 3 | 1,54 |
| 7 | S3K1 | 1 | 1,48 | 16 | S3K2 | 1 | 1,49 | 25 | S3K3 | 1 | 1,50 |
| 8 | | 2 | 1,48 | 17 | | 2 | 1,49 | 26 | | 2 | 1,50 |
| 9 | | 3 | 1,48 | 18 | | 3 | 1,49 | 27 | | 3 | 1,50 |
| | S4K1 | 1 | 1,48 | | S4K2 | 1 | 1,48 | | S4K4 | 1 | 1,49 |
| | S5K1 | 1 | 1,48 | | S5K2 | 1 | 1,48 | | S5K4 | 1 | 1,49 |
| | S6K1 | 1 | 1,48 | | S6K2 | 1 | 1,49 | | S6K4 | 1 | 1,49 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 2. Hasil Pengujian Aktivitas Enzim Diastase

| No | Kode | Ulangan | AktivitasEnzim Diastase (DN) | No | Kode | Ulangan | AktivitasEnzim Diastase (DN) | No | Kode | Ulangan | AktivitasEnzim Diastase (DN) |
|----|------|---------|------------------------------------|----|------|---------|------------------------------------|----|------|---------|------------------------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 3,362 | 9 | | 3 | 2,203 | 17 | | 2 | 1,677 |
| 2 | S2K1 | 1 | 2,706 | 10 | S3K2 | 1 | 1,932 | 18 | | 3 | 1,205 |
| 3 | S3K1 | 1 | 3,402 | 11 | | 2 | 1,351 | 19 | S3K3 | 1 | 2,899 |
| 4 | S1K2 | 1 | 1,678 | 12 | | 3 | 2,783 | 20 | | 2 | 1,551 |
| 5 | | 2 | 2,227 | 13 | S1K3 | 1 | 1,954 | 21 | | 3 | 2,128 |
| 6 | | 3 | 2,468 | 14 | | 2 | 2,167 | 22 | S4K4 | 1 | 1,276 |
| 7 | S2K2 | 1 | 1,069 | 15 | | 3 | 2,211 | 23 | S5K4 | 2 | 1,172 |
| 8 | | 2 | 1,318 | 16 | S2K3 | 1 | 1,101 | 24 | S6K4 | 3 | 1,151 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 3. Hasil pengujian keasaman madu

| No | Kode | Ulangan | Keasaman (ml NaOH/Kg) | No | Kode | Ulangan | Keasaman (ml NaOH/Kg) | No | Kode | Ulangan | Keasaman (ml NaOH/Kg) |
|----|------|---------|--------------------------|----|------|---------|--------------------------|----|------|---------|--------------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 37 | 9 | | 3 | 39 | 17 | | 2 | 39 |
| 2 | S2K1 | 1 | 38 | 10 | S3K2 | 1 | 42 | 18 | | 3 | 39 |
| 3 | S3K1 | 1 | 37 | 11 | | 2 | 42 | 19 | S3K3 | 1 | 39 |
| 4 | S1K2 | 1 | 41 | 12 | | 3 | 43 | 20 | | 2 | 41 |
| 5 | | 2 | 42 | 13 | S1K3 | 1 | 41 | 21 | | 3 | 40 |
| 6 | | 3 | 43 | 14 | | 2 | 40 | 22 | S4K4 | 1 | 41 |
| 7 | S2K2 | 1 | 41 | 15 | | 3 | 41 | 23 | S5K4 | 2 | 43 |
| 8 | | 2 | 41 | 16 | S2K3 | 1 | 41 | 24 | S6K4 | 3 | 44 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 4. Pengujian viskositas madu

| NO | Kode | Ulangan | Viskositas (mPa.s) | NO | Kode | Ulangan | Viskositas (mPa.s) | NO | Kode | Ulangan | Viskositas (mPa.s) | Ulangan | Viskositas (mPa.s) | Ulangan | Viskositas (mPa.s) |
|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 781 | 19 | S1K2 | 1 | 812,3 | 37 | S1K3 | 1.1 | 2576 | 1.2 | 2576 | 1.3 | 2529 |
| 2 | | 2 | 772,1 | 20 | | 2 | 810 | 38 | | 2.1 | 2576 | 2.2 | 2495 | 2.3 | 2460 |
| 3 | | 3 | 749,8 | 21 | | 3 | 790 | 39 | | 3.1 | 2715 | 3.2 | 2750 | 3.3 | 2762 |
| 4 | S2K1 | 1 | 781 | 22 | S2K2 | 1 | 812,3 | 40 | S2K3 | 1.1 | 2820 | 1.2 | 2854 | 1.3 | 2796 |
| 5 | | 2 | 772,1 | 23 | | 2 | 810 | 41 | | 2.1 | 2305 | 2.2 | 2271 | 2.3 | 2271 |
| 6 | | 3 | 749,8 | 24 | | 3 | 790 | 42 | | 3.1 | 1979 | 3.2 | 1967 | 3.3 | 1934 |
| 7 | S3K1 | 1 | 781 | 25 | S3K2 | 1 | 812,3 | 43 | S3K3 | 1.1 | 1607 | 1.2 | 1641 | 1.3 | 1647 |
| 8 | | 2 | 772,1 | 26 | | 2 | 810 | 44 | | 2.1 | 1652 | 2.2 | 1636 | 2.3 | 1647 |
| 9 | | 3 | 749,8 | 27 | | 3 | 790 | 45 | | 3.1 | 1647 | 3.2 | 1675 | 3.3 | 1675 |
| 10 | S4K1 | 1 | 781 | 28 | S4K2 | 1 | 812,3 | 46 | S4K4 | 1 | 839,1 | | | | |
| 11 | | 2 | 772,1 | 29 | | 2 | 810 | 47 | | 2 | 836,8 | | | | |
| 12 | | 3 | 749,8 | 30 | | 3 | 790 | 48 | | 3 | 834,6 | | | | |
| 13 | S5K1 | 1 | 781 | 31 | S5K2 | 1 | 812,3 | 49 | S5K4 | 1 | 830,1 | | | | |
| 14 | | 2 | 772,1 | 32 | | 2 | 810 | 50 | | 2 | 796,7 | | | | |
| 15 | | 3 | 749,8 | 33 | | 3 | 790 | 51 | | 3 | 794,4 | | | | |
| 16 | S6K1 | 1 | 781 | 34 | S6K2 | 1 | 812,3 | 52 | S6K4 | 1 | 752 | | | | |
| 17 | | 2 | 772,1 | 35 | | 2 | 810 | 53 | | 2 | 745,3 | | | | |
| 18 | | 3 | 749,8 | 36 | | 3 | 790 | 54 | | 3 | 743,1 | | | | |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 5. Hasil pengujian kadar air madu

| NO | Kode | Ulangan | Kadar Air Madu (%) | NO | Kode | Ulangan | Kadar Air Madu (%) | NO | Kode | Ulangan | Kadar Air Madu (%) |
|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 18,68 | 13 | S1K2 | 1 | 17,98 | 25 | S1K3 | 1 | 13,37 |
| 2 | | 2 | 18,71 | 14 | | 2 | 18,01 | 26 | | 2 | 14,02 |
| 3 | | 3 | 18,62 | 15 | | 3 | 17,97 | 27 | | 3 | 13,60 |
| 4 | S2K1 | 1 | 18,73 | 16 | S2K2 | 1 | 17,98 | 28 | S2K3 | 1 | 12,71 |
| 5 | | 2 | 18,66 | 17 | | 2 | 17,99 | 29 | | 2 | 13,08 |
| 6 | | 3 | 18,69 | 18 | | 3 | 17,95 | 30 | | 3 | 12,90 |
| 7 | S3K1 | 1 | 18,69 | 19 | S3K2 | 1 | 17,96 | 31 | S3K3 | 1 | 14,55 |
| 8 | | 2 | 18,70 | 20 | | 2 | 17,99 | 32 | | 2 | 13,96 |
| 9 | | 3 | 18,71 | 21 | | 3 | 17,98 | 33 | | 3 | 14,26 |
| 10 | S4K1 | 1 | 18,68 | 22 | S4K2 | 1 | 17,97 | 34 | S4K4 | 1 | 17,98 |
| 11 | S5K1 | 1 | 18,68 | 23 | S5K2 | 1 | 17,98 | 35 | S5K4 | 1 | 17,97 |
| 12 | S6K1 | 1 | 18,69 | 24 | S6K2 | 1 | 17,96 | 36 | S6K4 | 1 | 17,97 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 6. Hasil pengujian gula pereduksi

| No | Kode | Ulangan | Gula Pereduksi (%) | No | Kode | Ulangan | Gula Pereduksi (%) | No | Kode | Ulangan | Gula Pereduksi (%) |
|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|----|------|---------|--------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 62,9681 | 9 | | 3 | 67,0347 | 17 | | 2 | 44,71516 |
| 2 | S2K1 | 1 | 57,8849 | 10 | S3K2 | 1 | 94,6713 | 18 | | 3 | 57,91995 |
| 3 | S3K1 | 1 | 66,9412 | 11 | | 2 | 78,1361 | 19 | S3K3 | 1 | 62,53579 |
| 4 | S1K2 | 1 | 82,2845 | 12 | | 3 | 66,2167 | 20 | | 2 | 92,27578 |
| 5 | | 2 | 84,9138 | 13 | S1K3 | 1 | 49,4478 | 21 | | 3 | 80,76541 |
| 6 | | 3 | 88,1273 | 14 | | 2 | 66,6257 | 22 | S4K4 | 1 | 74,16301 |
| 7 | S2K2 | 1 | 65,0482 | 15 | | 3 | 78,3698 | 23 | S5K4 | 2 | 68,5539 |
| 8 | | 2 | 74,0461 | 16 | S2K3 | 1 | 62,0099 | 24 | S6K4 | 3 | 77,66871 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6)

Lampiran 7. Hasil uji total padatan terlarut

| No | Kode | Ulangan | Total Padatan Terlarut (%Brix) | No | Kode | Ulangan | Total Padatan Terlarut (%Brix) | No | Kode | Ulangan | Total Padatan Terlarut (%Brix) |
|----|------|---------|--------------------------------|----|------|---------|--------------------------------|----|------|---------|--------------------------------|
| 1 | S1K1 | 1 | 74 | 9 | | 3 | 75 | 17 | | 2 | 78 |
| 2 | S2K1 | 1 | 74 | 10 | S3K2 | 1 | 74,9 | 18 | | 3 | 78 |
| 3 | S3K1 | 1 | 74 | 11 | | 2 | 74,5 | 19 | S3K3 | 1 | 77,5 |
| 4 | S1K2 | 1 | 75 | 12 | | 3 | 74,6 | 20 | | 2 | 77,7 |
| 5 | | 2 | 74 | 13 | S1K3 | 1 | 78,6 | 21 | | 3 | 77,8 |
| 6 | | 3 | 73,5 | 14 | | 2 | 78 | 22 | S4K4 | 1 | 76 |
| 7 | S2K2 | 1 | 75 | 15 | | 3 | 77,9 | 23 | S5K4 | 2 | 75,5 |
| 8 | | 2 | 75 | 16 | S2K3 | 1 | 78,5 | 24 | S6K4 | 3 | 75,5 |

Keterangan:

Raw Material (K1), Pasteurisasi (K2), VC (K3), Konvensional (K4)

VC 12,5% Volume (S1), VC 25% Volume (S2), VC 50% Volume (S3)

K 12,5% Volume (S4), K 25% Volume (S5), K 50% Volume (S6).

Lampiran 8. Proses perakitan alat pendingin vakum sistim jet air



Lampiran 9. Proses pengujian alat pendingin vakum sistim jet air



Lampiran 10. Proses kalibrasi alat dengan midi logger

